



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBONİZE EDİLMİŞ YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ
ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTİN ÜRETİLMESİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**TUĞBA YENİLMEZ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep ÇALIN**

KIRIKKALE-2022

Tuğba YENİLMEZ tarafından hazırlanan “KARBONİZE EDİLMİŞ YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Metalürji ve Malzeme Müh, Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Osman BİCAN

Makine Müh, Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ

Metalürji ve Malzeme Müh, Gazi Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 28/09/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

...../...../.....

Tuğba YENİLMEZ

ÖZET

KARBONİZE EDİLMİŞ YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YENİLMEZ, Tuğba

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Recep Çalın

(Eylül 2022, 74 Sayfa)

Bu çalışmada toz metalurjisi (TM) ve vakum infiltrasyon yöntemleri kullanılarak ticari saflıkta alüminyum (Al) ile ağırlıkça %2, %4 ve %6 karbonize edilmiş yumurta kabuğu takviyeli Al kompozit ve takviye içermeyen Al matrisli numuneler üretilmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılan yumurta kabukları toplanıp yıkanmış ardından kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Fırında kuruma işleminin ardından toz haline getirilen yumurta kabukları karbonizasyon işlemi için 500 °C de 3 saat süreyle tutulmuştur. Matris malzemesi alüminyum ve takviye elemanı karbonize yumurta kabuğu tozu bilyalı değirmende 400 rpm dönme hızında 1 saat süreyle tutularak toz karışımı elde edilmiştir. Toz karışımı tek yönlü preste 30 kN basınçla sıkıştırılarak test numuneleri üretilmiştir. Daha sonra numuneler, 610 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme esnasında koruyucu gaz olarak Argon(Ar) gazı kullanılmıştır.

İnfiltrasyon numuneleri ise hazırlanan toz karışımları çelik boruların içerisine yerleştirilerek 750 °C de sıvı Al ergiyiğinin içerisine daldırılmış 3 dakika süreyle 750 °C sıcaklıkta ve 580 mm-Hg vakum basıncı altında test numuneleri üretilmiştir.

Üretilen numunelere Brinell sertlik testi yapılarak değişen takviye oranlarının sertlik değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Daha sonra üretilen numuneler mikroyapı analizi, XRD, SEM, EDS incelemelerine tabi tutularak takviye oranının mikroyapıya etkileri analiz edilmiştir.

Artan takviye oranına bağlı olarak her iki yöntemde de sertlikte artış gözlenmiş ancak TM yöntemi ile üretilen numunelerin sertlikleri infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerin sertliğine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Al, yumurta kabuğu, kompozit, TM, infiltrasyon



ABSTRACT

PRODUCTION AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITE WITH CARBONIZED EGG SHELL REINFORCED

YENİLMEZ, Tuğba

Kırıkkale University

Graduate Scholl Of Natural And Applied Sciences

Department of Defense Technologies, Master Thesis

Supervisor: Recep ÇALIN

September 2022, 74 Pages

In this study, 2%,4% and 6% carbonized eggshell reinforced and non-reinforced Al matrix composites were produced with commercial grade aluminum(Al) using powder metallurgy (TM) and vacuum infiltration methods. Egg shells used as reinforcement elements were collected, washed and then dried. After the drying process, the powdered egg shells were kept at 500 °C for 3 hours for the carbonization process. The powder mixture was obtained by keeping the matrix material aluminum and the reinforcement element carbonized eggshell powder in a ball mill at a rotational speed of 400 rpm for 1 hour. Test samples were produced by compressing the powder mixture with a pressure of 30 kN in a one-way press. Then the samples were sintered at 610 °C for 2 hours. Argon (Ar) gas was used as the shielding gas during sintering.

On the other hand, the powder mixtures prepared for infiltration samples were placed in steel pipes and immersed in liquid Al melt at 750 °C for 3 minutes, at 750 °C and under 580 mm-Hg vacuum pressure, test samples were produced.

The effect of varying reinforcement ratios on hardness values was determined by performing Brinell hardness test on the produced samples.

Then, the produced samples were subjected to microstructure analysis, XRD, SEM, EDS examinations and the effects of reinforcement ratio on microstructure were analyzed.

Depending on the increasing reinforcement ratio, an increase in hardness was observed in both methods, but the hardness of the samples produced by the TM method was lower than the hardness of the samples produced by the infiltration method.

Keywords: Al, Eggshell, Composite, TM, Infiltration



TEŞEKKÜR

Bugünlere gelmemde göstermiş oldukları maddi, manevi tüm fedakârlıklardan dolayı, hayatımın her anında en büyük destekçilerim aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tez danışmanım Prof. Dr. Recep Çalın' a, Malezya Putra Üniversitesinde yapmış olduğum çalışmalarda katkılarından dolayı Prof. Dr. Azmah Hanim' a, Dr. C.N. Aiza Jaafar' a, laboratuvar çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Dele Afolabi' ye, Kırıkkale Üniversitesi çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Naci Arda Tanış 'a, Arş. Gör. Onur Okur' a ve Arş. Gör. Sefa Kazanç' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
SİMGELER DİZİNİ	XII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
BÖLÜM 2.....	4
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1 Kompozitlerin Takviye Elemanına Göre Sınıflandırılması.....	6
2.1.1. Partikül Takviyeli Kompozitler.....	6
2.1.2. Fiber Takviyeli Kompozitler	7
2.1.3. Tabakalı Kompozitler	8
2.1.4 Doldurulmuş Kompozitler	8
2.2. Matris Malzemesine Göre Kompozitler	8
2.2.2 Polimer Matrisli Kompozitler	9
2.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler.....	9

BÖLÜM 3.....	10
3.METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER	10
3.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Matris Malzemeleri	11
3.1.1. Alüminyum	12
3.1.2 Magnezyum ve Alaşımları	18
3.1.3 Titanyum ve Alaşımları.....	19
3.2 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri	19
3.2.1 Alümina(Al_2O_3)	20
3.2.2 Silisyum Karbür(SiC).....	21
3.2.3 Bor Karbür(B_4C)	21
3.2.4 Yumurta Kabuğu.....	22
3.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları.....	23
3.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	26
3.5 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	27
3.5.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri	28
3.5.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	30
BÖLÜM 4.....	37
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
4.1 Malzeme ve Yöntem	37
4.1.1 Matris Malzemesi.....	37
4.1.2 Takviye Malzemesi	38
4.2 TM Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	39
4.3. İnfiltrasyon Deney Numunelerinin Hazırlanması	44
4.4. SEM ve EDS Analizi	47
4.5. Sertlik Ölçüleri.....	47
BÖLÜM 5.....	47
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47

5.1 Yoğunluk ve Gözeneklilik Ölçümleri.....	47
5.2. Mikro yapısal Karakterizasyon.....	48
5.2.1. Optik Mikroskop Analizi	49
5.2.2. %2 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi.....	51
5.2.3. %4 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi	53
5.2.4. %6 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi	54
5.2.5. %2 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi.....	56
5.2.6. %4 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi.....	57
5.2.7. %6 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi.....	58
5.3. XRD analizi sonuçları.....	61
5.4. Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
6.SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER DİZİNİ

AL	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
B	Bor
B ₄ C	Bor karbür
C	Karbon
Co	Kobalt
Cu	Bakır
ES	Yumurta kabuğu
Mg	Magnezyum
Mg ₂ Si	Magnezyum silisid
Mn	Mangan
Ni	Nikel
PP	Polipropilen
SiC	Silisyum karbür
Si ₃ N ₄	Silisyum nitrür
SiO ₂	Silisyum dioksit
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum karbür
TiB ₂	Titanyum diborür
Zn	Çinko

KISALTMALAR DİZİNİ

MMK	Metal Matrisli Kompozitler
RHA	Pirinç Kabuğu Külü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
T-H	Takviye Hacim Oranı
TM	Toz Metalurjisi

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Saf alüminyuma ait özellikler.....	12
Çizelge 3.2. Alüminyum ve bazı metallerin fiziksel ve mekanik özelliklere göre karşılaştırılması.....	14
Çizelge 3.3. Alüminyum alaşımlarının 4 rakamlı simgeleme dizisi.....	16
Çizelge 3.4. Takviye malzemeler ve uygulama alanları.....	20
Çizelge 3.5. Yumurta kabuğunun ortalama kimyasal bileşenleri.....	22
Çizelge 3.6. Metal matrisli kompozit üretim teknikleri.....	27
Çizelge 4.1. Saf alüminyuma ait fiziksel ve mekanik özellikler.....	38
Çizelge 5.1. TM ve infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerin yoğunlukları ve gözeneklilikleri.....	48
Çizelge 5.2. Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin EDS analizi.....	52
Çizelge 5.3. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin sertlik değişimleri.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda arayüzey ve ara fazlar	5
Şekil 2.2. Takviye elemanın şekline göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması..	6
Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri.....	7
Şekil 2.4. Tabakalı kompozit malzemelerin şematik gösterimi	8
Şekil 3.1. Şematik olarak kompozit malzemenin bileşenleri.....	11
Şekil 3.2.MMK'lerde kullanılan matris malzemelerinin yoğunluğa göre karşılaştırılması.....	11
Şekil 3.3. Al ₂ O ₃ 'ün SEM görüntüsü.....	20
Şekil 3.4.SiC'ün SEM görüntüsü.....	21
Şekil 3.5. Al-MMK'lerin kullanıldığı bazı uygulama alanları.....	24
Şekil 3.6. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretilmiş honda marka aracın motor bloğu.....	24
Şekil 3.7. Kompozit malzeme kullanılan spor malzemeler.....	25
Şekil 3.8. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matris kompozitler.....	26
Şekil 3.9. MMK üretiminde kullanılan takviye elemanı türlerinin oranları.....	26
Şekil 3.10.Firmaların kullandığı MMK üretim yöntemleri ve oranları.....	28
Şekil 3.11. Toz metalurjisi yöntemi.....	29
Şekil 3.12. Difüzyonla bağlama yönteminin şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.13. Vorteks yöntemi.....	31
Şekil 3.14. Sıkıştırma döküm yöntemi.....	32
Şekil 3.15. Vakum infiltrasyon düzeneği.....	33
Şekil 3.16.Bainçlı infiltrasyon yöntemi.....	33
Şekil 3.17. Compo-Casting döküm yönteminin şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.18. Sprey yöntemi.....	35
Şekil 3.19. In-situ yöntemi.....	36
Şekil 3.20. Plazma püskürtme yönteminin şematik gösterimi.....	36

Şekil 4.1. Yumurta kabuğu işlem aşamaları.....	38
Şekil 4.2. Yumurta zarı.....	39
Şekil 4.3. Panasor marka robot.....	39
Şekil 4.4. Karbonizasyon işleminde kullanılan elite marka fırın.....	39
Şekil 4.5. Karbonize edilmiş yumurta kabuğu tozu.....	40
Şekil 4.6. AND marka HR-250AZ model terazi.....	40
Şekil 4.7. FRITSCH marka pulverizet 6 model bilyalı değirmen	41
Şekil 4.8. Toz karıştırmada işlem aşamaları.....	41
Şekil 4.9. INSTRON marka 3382 model pres.....	42
Şekil 4.10. Presleme işlem aşamaları.....	42
Şekil 4.11. Test numuneleri.....	43
Şekil 4.12. Sinter fırını.....	43
Şekil 4.13. İnfiltrasyonda kullanılan çelik borular.....	44
Şekil 4.14. Alüminyumun ergitilmesi.....	45
Şekil 4.15. İnfiltrasyon işlemi.....	45
Şekil 4.16. SEM ve EDS analiz cihazı.....	46
Şekil 4.17. Sertlik cihazı.....	46
Şekil 5.1. TM ve infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerin gözenekliliği.....	48
Şekil 5.2. TM yöntemiyle üretilen ES takviyeli Al matrisli numunelerin optik mikroskop görüntüsü.....	49
Şekil 5.3. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ES takviyeli numunelerin optik mikroskop görüntüleri.....	50
Şekil 5.4. Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografileri.....	51
Şekil 5.5. TM yöntemi ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin x50 büyümede genel EDS analizi.....	51
Şekil 5.6. Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi üzerinden alınan EDS analiz bölgeleri.....	52
Şekil 5.7. Toz metalurjisi ile üretilmiş %4 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi.....	53
Şekil 5.8. TM yöntemi ile üretilmiş %4 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi.....	54

Şekil 5.9. Toz metalurjisi ile üretilmiş %6 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi.....	55
Şekil 5.10. TM yöntemi ile üretilmiş %6 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi.....	55
Şekil 5.11. İnfiltrasyon ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin SEM mikrografisi.....	56
Şekil 5.12. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi.....	56
Şekil 5.13. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %4 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi.....	57
Şekil 5.14. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %4 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi.....	58
Şekil 5.15. İnfiltrasyon ile üretilmiş %6 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi.....	58
Şekil 5.16. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %6 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi.....	59
Şekil 5.17. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş % 2 ES içeren numunenin XRD analizi	60
Şekil 5.18. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş % 2 ES içeren numunenin XRD analizi.....	60
Şekil 5.19. Sertliğin takviye oranları ile değişimi.....	62

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda teknoloji alanındaki hızla yaşanan gelişme süreci, geleneksel malzemelere göre daha iyi özelliklere sahip gelişmiş malzemelerin kullanımına ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Bu gelişen teknolojik uygulamalar nedeni ile sanayinin ana maddesi olan malzemelerde de gelişmeyi ihtiyaç haline getirmiştir. Bu yüzden malzeme bilimi araştırmacıları, alaşımlardan ve organik maddelerden daha iyi nitelikler gösteren malzemeleri araştırmaya başlamışlardır.

Bu araştırmaların sonucunda diğer malzemelerden farklı olarak, geleneksel malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan kompozit malzemeler üretilmiştir. Geleneksel malzemelere kıyasla daha fazla üstün özelliği barındıran kompozit malzemelerin en dikkat çekici özelliği, özgül ağırlığının düşük fakat yüksek mukavemet göstermeleridir [1].

Endüstride kompozit malzemeler pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu sebepten, kompozit malzemelerden beklenen özellikler, kullanım alanına göre farklılık göstermektedir. Bunlar; dayanım, sertlik, tokluk, hafiflik, aşınma, korozyon direnci, ısı yalıtımı-iletimi, titreşim iletimi, düşük maliyet, üretilebilirlik vb.dir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan yöntemler, üretilen malzemelerin özellikleri, üretimde kullanılacak olan ana faz ve takviye elemanlarının tür ve oranları günümüzde araştırmalara konu olmaktadır [2].

Kompozit malzemelerin yapısını takviye malzemesi ile bu malzemenin takviye edildiği ana malzeme matris malzemesi oluşmaktadır. Kompozit malzemelerdeki takviye malzemelerinin asıl işlevi, kompozit malzemeye dayanım kazandırmak ve yükü taşımasını sağlamaktır.

Takviye malzemesinde aranan diğer özellikler ise, aşınma katsayısını yükseltmek, yoğunluğunu azaltmak ve ateşe dayanıklılığını geliştirmektir [3].

Genelde MMK malzemelerde matris malzemesi olarak hafif alaşımlar ve metaller tercih edilmektedir. Magnezyum (Mg), magnezyum (Al), çinko (Zn), berilyum (Be), bakır (Cu), Nikel (Ni), Demir (Fe), Titanyum (Ti), Kobalt (Co) ve gümüş (Ag) yaygın olarak tercih edilen matris malzemeleridir. Takviye için en çok kullanılan malzemeler yüksek sertlik, dayanım, düşük yoğunluk, ve elastiklik modülü gibi özelliklerinden dolayı seramiklerdir. Bunlara örnek ise; alümina, silisyum karbür (SiC), titanyum diborür (TiB₂), bor karbür (B₄C), titanyum karbür (TiC), ve grafittir [3].

Metaller; yüksek mekanik dayanımına sahip olmaları, yüksek sıcaklık performansları, tokluk değerlerinin yüksek olması, yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, yorulma davranışı ve ısı genleşme özelliği göstermelerinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilmektedir.

Bu özelliklerle beraber ısı ve elektriksel iletim katsayılarının yüksek olması, neme direnmeleri ayrıca yanmama özelliğine sahip olmaları matris malzemesi olarak metallerin tercih edilmesinde önemlidir [4].

Matris malzemesi MMK' larda genelde Al ve alaşımları kullanılmaktadır. Yerküre üzerinde alüminyum en çok rezerve sahip olan elementlerden biridir ve demirden sonra zenginleştirilip metal halinde kullanılan metaldir. Alüminyum ve alaşımlarını sanayide kullanımını gerekli kılan özelliklerinin başında özgül ağırlığının düşük olması ve nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip olması, plastik şekil verme kolaylığı, iyi korozyon dayanımına ve elektriksel iletkenliğe sahip olmaları gelmektedir [3].

Çeşitli takviye malzemeleri kullanılarak dayanımı artırılan alüminyum MMK' ler hafif, yüksek dayanım değerleri ve iyi aşınma dayanımı gibi pek çok üstün özelliğe sahiptirler. Bu özelliklerin tamamını bir arada elde etmek, genelde mümkün olmamaktadır.

Al ve alaşımlarının, özelliklerinin geliştirilmesi için, takviye elemanları eklenerek Alüminyum matrisli kompozit malzemeler elde edilir.

Alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemesi seçimi; uygulama alanına, üretim yöntemlerine ve malzeme maliyetine göre planlanarak yapılmaktadır ve kullanılan takviye elemanları SiC Al_2O_3 , B_4C , TiC, pirinç kabuğu külü(RHA),yumurta kabuğu vb. takviye elemanları kullanılarak kompozit malzemeler üretilmektedir [3].

MMK'ler toz metalurjisi gibi katı hal, infiltrasyon, döküm, karıştırmalı döküm ve sıkıştırılmış döküm, püskürtme çökmesi gibi sıvı hal işlemleri gibi pek çok üretim tekniği ile üretilmektedir.

Katı hal üretim yöntemlerinden toz metalurjisi, parçacık takviyeli MMK'lerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak pahalı bir yöntem olmasının yanında seramiklerin sinterlenmesinin yüksek sıcaklıklarda olması magnezyum ve alüminyum gibi metallerde yanmaya neden olması yöntemin dezavantajlarından. Sıvı hal yöntemlerinden infiltrasyon yöntemi ise ekonomik olması sebebiyle MMK'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır[5].

MMK'ler bu yöntem ile basınçlı, basınçsız veya vakum altında üretilmektedir[6].

Yöntem parametreleri; infiltrasyon süre, sıvı metalin sıcaklığı, T-H oranı, parçacık boyutları ve alaşımdır. Alüminyum tarafından seramik malzemelerin ısıtılmasının zor olması, seramik ile metal arayüzeyinde ısıtmamaya, boşluk oluşumuna ve eksik infiltrasyona sebep olması yöntemin dezavantajlarıdır [5].

1.1. Tezin Amacı

Yapılan çalışmada matris malzemesi ticari saflıkta alüminyum ile % 0, % 2, % 4 ve % 6 olmak üzere farklı T-H oranlarında karbonize edilmiş yumurta kabuğu takviyesi kullanılarak kompozit malzemenin üretilmesi, üretilen bu malzemelerin Mikro yapısal Karakterizasyonu yapılarak mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

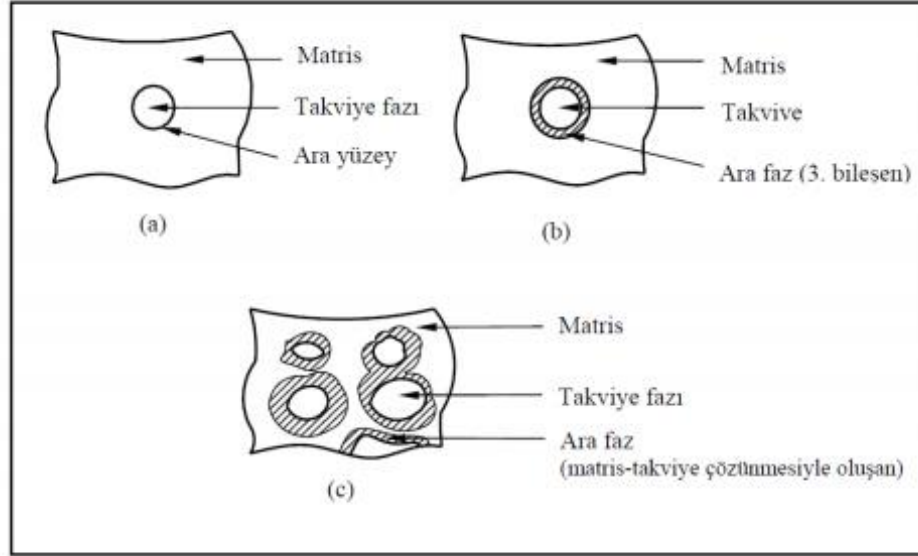
BÖLÜM 2

2. KOMPOZİT MALZEMELER

En az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesi sonucu elde edilen farklı özelliklere sahip yeni malzemeye kompozit malzeme denilmektedir[7].

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerden farklı olarak düşük esneklik, yüksek dayanım, hafiflik, iyi korozyon direnci, yüksek sertlik değerleri ve düşük iletkenlik gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler [8].

Kompozit malzeme içerisinde sert ve yüksek dayanımlı kısmı takviye fazı oluştururken asıl yapıyı, nispeten daha düşük dayanıma sahip ancak sünekliği yüksek olan matris oluşturmaktadır. Kompozit malzemeyi meydana getiren matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir [9]. Şekil 2.1 ‘ de matris- takviye arasında oluşan arayüzey ve ara fazlara yer verilmiştir.



Şekil 2.1 Kompozit malzemede matris-takviye arasında oluşan bağda arayüzey ve ara fazlar a) doğrudan arafaz olmadan birleşme, b) kaplanmış takviye kullanımı, c) Sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu [9]

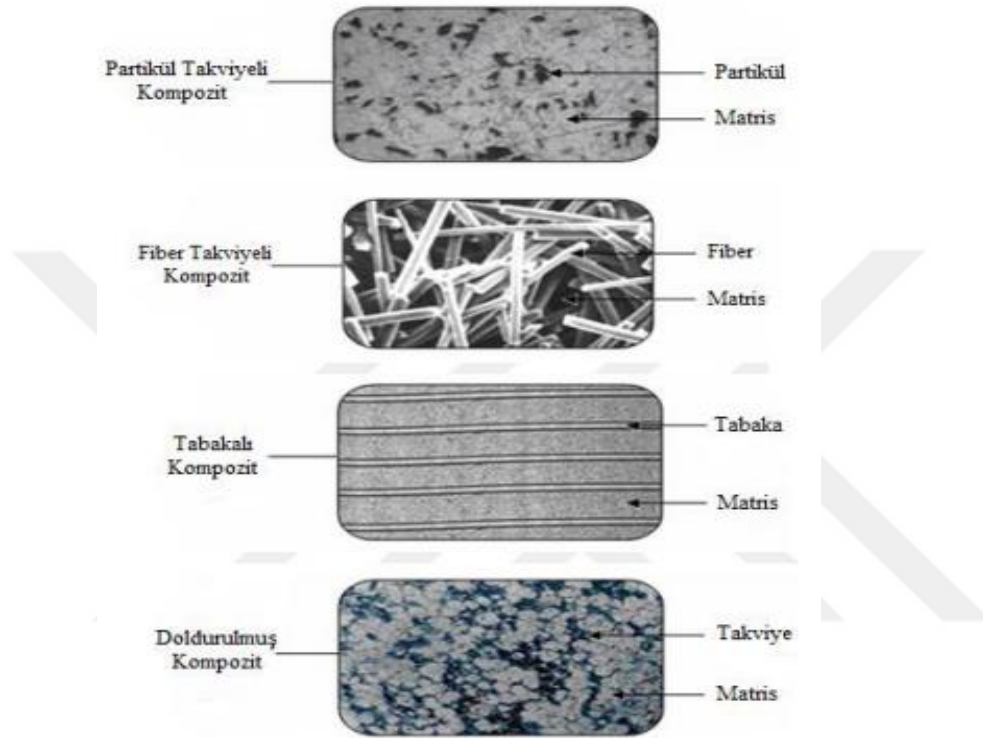
Kompozit malzeme üretimiyle birlikte bazı özellikler elde edilebilmektedir [10].

- Mekanik özellikler (basınç, çekme, eğilme ve darbe),
- Yorulma davranışı,
- Aşınma davranışı,
- Kırılma tokluğu
- Korozyon dayanımı,
- Yüksek sıcaklık dayanımı,
- Isı iletim ve termal direnç,
- Elektrik iletimi ve elektriksel direnç,
- Akustik özellikler
- Rijitlik,
- Hafiflik, şeklinde sıralanabilir [8].

Belirtilen bütün özellikler aynı zamanda meydana gelmez bu özelliklerin meydana gelmesi için gereklilikler, matris ve takviye elemanının uygunluğu, uygun üretim yöntemi, bileşenlerin dayanım özellikleri ve diğer etkenler göz önünde bulundurularak üretimin yapılması sonucu istenilen özelliklerin elde edilmesi mümkündür [10].

2.1 Kompozitlerin Takviye Elemanına Göre Sınıflandırılması

Şekline göre takviye elemanları; fiber takviyeli, partikül takviyeli, tabakalı ve doldurulmuş kompozitler olarak çeşitli sınıflara ayrılmıştır [11] . Bu sınıflandırma şekil 2.2 ' de verilmiştir.



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması [11]

2.1.1. Partikül Takviyeli Kompozitler

Kompozitlerin üretimlerinde yaşanan gelişmelerle beraber, partikül takviyeli kompozitlerin kullanımı gün geçtikçe yaygın hale gelmiştir. Düşük maliyet ve iyi performans özellikleri bu kompozitleri ön plana çıkmasının temel sebeplerindendir [11].

Kompozit üretiminde yaygın olarak tercih edilen takviye elemanları, SiC ile Al_2O_3 gibi malzemelerdir. Kübik, küresel, tek tip ya da farklı geometrilerde olabileceği gibi kompozit içinde yönlendirilmemiş ya da yönlendirilmiş olarak da bulunabilmektedir [12].

2.1.2. Fiber Takviyeli Kompozitler

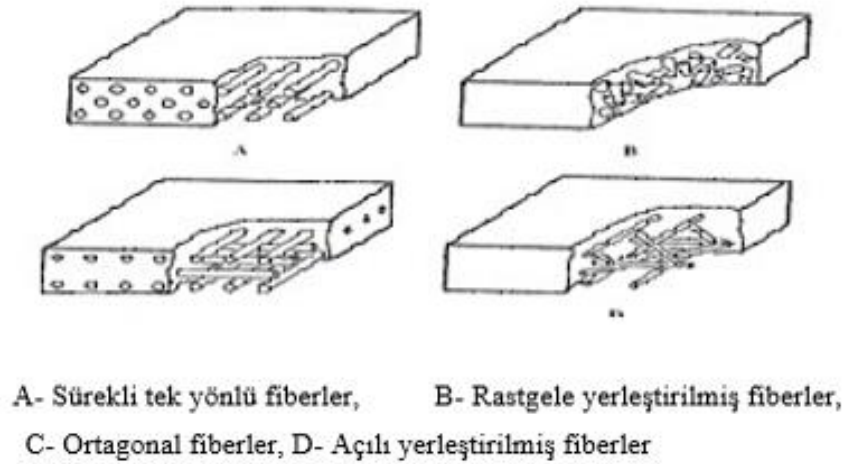
Kompozitler içinde fiber takviyeliler en çok öneme sahip olan kompozitlerdir [11].

Elyaf takviyeli kompozitler, sünek yapıdaki matris içerisine, dayanımı ve elastik modülü yüksek fiberlerin ilavesi sonucu elde edilirler.

Yük taşıma kapasitesinin önem arz ettiği uygulamalarda genellikle kullanılan elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, matris malzemesi kompozit üzerine uygulanan yükü elyafa aktarır. Böylece yüksek dayanıma sahip olan elyaf yükün büyük bir kısmını taşır.

Fiberler kompozit malzemedeki tek yönlü bulunabileceği gibi yönlendirilmiş olarak da bulunabilmektedirler. Genelde fiberler malzemeye uygulanacak yüklerin doğrultusunda yerleştirilirler.

Özellikle, havacılık ve uzay endüstrisinde yüksek dayanım, rijitlik, düşük ağırlık vb. özelliklerin istenmesi sebebiyle fiber takviyeli kompozit malzemeler, bu uygulama alanları için vazgeçilemez bir malzeme grubu haline gelmiştir. Şekil 2.3’ de fiber takviyeli kompozitlere ait morfolojilere yer verilmiştir [12].

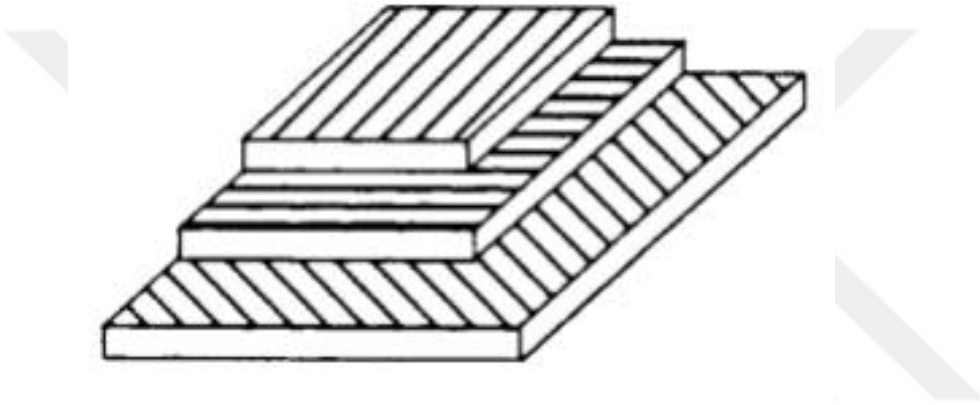


Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozitlere ait morfolojiler [12]

2.1.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalar, farklı türde malzemelerden oluşabildiği gibi çeşitli şekillerde takviye edilmiş kompozit malzemelerden de oluşabilmektedir [12].

Tabakalı kompozitler; dayanım, gözeneklilik, ısı iletimi, yüzey sertliği, suya ve dış etkilere karşı direnç gibi farklı özelliklere sahip tabakaların birleştirilmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu tabakaların bir araya getirilmeleri herhangi bir teknikle veya yapıştırıcı kullanılarak sağlanmaktadır [11]. Tabakalı kompozitlerin şematik gösterimi şekil 2.4 ' de verilmiştir.



Şekil 2.4. Tabakalı kompozit malzemelerin şematik gösterimi [13]

2.1.4 Doldurulmuş Kompozitler

Bu kompozitler, matris hacminin, dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla üretilen kompozitlerdir. Matrisin şekli farklı geometrilerde olabilir. Dolgu malzemesi olarak metalik, organik ya da seramik bazlı malzemeler kullanılır [11].

2.2. Matris Malzemesine Göre Kompozitler

Matris malzemesinin türüne göre kompozitler şu şekilde sıralanabilir;

- Metalik Matrisli Kompozitler,
- Polimer Matrisli Kompozitler,
- Seramik Matrisli Kompozitler [13]

2.2.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metallerin tokluk ve süneklilik niteliklerinin, seramik malzemelerin yüksek elastik modülü ve iyi dayanımı gibi özellikleriyle birleştirilmeleri sonucu oluşturulan kompozit malzemelerin, yüksek dayanım, elastik modülü, hafiflik, yüksek aşınma, yüksek sıcaklıklarda performans olmak üzere pek çok özellikleri bulunur.

Bu tür kompozitlerde çoğunlukla düşük yoğunluğa sahip metaller matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. MMK da matris olarak ilk sırayı alüminyum ve alaşımları almaktadır. Bunun sebebi düşük özgül ağırlık ve düşük ergime sıcaklıklarıdır. En fazla tercih edilen takviye elemanları SiC, SiO₂, Al₂O₃, TiC, B₄C ve C'dir [12].

2.2.2 Polimer Matrisli Kompozitler

Hafiflik, kolayca işlenebilirlik, istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi, hammaddenin nispeten ucuz oluşu ve çok karmaşık ve büyük parçaların bile kolayca imal edilebilir olması gibi özellikleri nedeniyle polimer matrisli kompozitlerin kullanımını yaygınlaşmıştır [13].

Özellikle karbon, aramid ve cam elyaflarla takviye edilen polimer kompozit malzemelerin endüstride yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Hava araçları parçaları, spor malzemeleri, güçlendirme amaçlı yapı elemanları yaygın uygulama alanlarına örnek verilebilir [12].

2.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler

Düşük yoğunlukları, yüksek sıcaklıklardaki davranışları (2000°C zeri), yüksek elastik modülleri, matris malzemesi olarak seçilmelerinin temel sebeplerindendir. Seramiklerin gevrek olmaları darbeler karşısında bu malzemeleri dayanıksız hale getirir bunun dışında, termal ve mekanik şoklar, gerilme dayanımlarının düşük oluşu bu malzemelerin dezavantajlarıdır [4].

BÖLÜM 3

3.METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Ana yapıyı oluşturan metalin, seramik veya refrakterler ile takviye edilmeleri sonucu metal matrisli kompozitler meydana gelmektedir [5].

Ana yapıyı daha düşük rijitlik ve dayanım özelliği gösteren matris fazı oluşturur[23]. Matris, takviye fazını bir arada tutmayı sağlayan bağlayıcı görevi görmektedir ve takviye fazına yükün iletimini gerçekleştirmektedir [15].

Genellikle alümina (Al_2O_3),silisyum karbür (SiC), silikondioksit (SiO_2), karbon (C) ve silisyum(Si) gibi farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Kullanılan takviye elemanının yapı içerisinde göstermiş olduğu dağılım, sistemin homojenliğini belirlemektedir. Bu homojenlik, malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde önemli etkindir [14].

Takviye elemanının belirlenmesinde mikroyapı, kimyasal bileşim, fiziksel/mechanik özellik, morfoloji ve maliyet, matrisin belirlenmesinde ise yoğunluk, korozyon direnci, mukavemet, süneklik/tokluk, oksidasyon direnci gibi karakteristikler dikkate alınmaktadır [16].

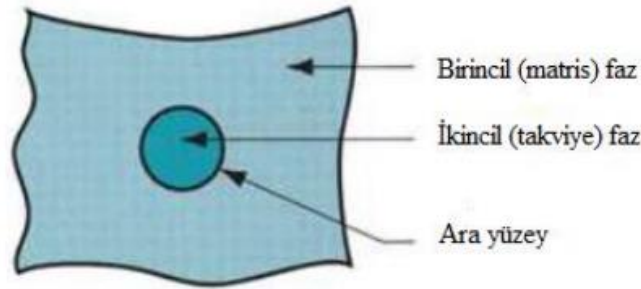
Metallerin matris malzemesi olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özellikleri, yüksek basma dayanımı, eğme dayanımı ve çekme dayanımları, yüksek tokluk değerleri, mukavemet ve yoğunluklarının iyi olması, yorulma direnci gibi özelliklere sahip olmalarıdır. Bu özelliklere ek olarak elektriksel ve ısı iletimlerinin yüksek olması, neme dayanıklılıkları ve yanmazlık özellikleri matris malzemesi olarak metallerin tercih edilmesinde etkilidir.

Metal matrisli kompozitlerin avantajlarının dışında çeşitli dezavantajlara da bulunmaktadır. Metal malzemelerin büyük bir kısmı yüksek özgül ağırlık ve düşük korozyon dayanımına sahiptir. Metal matrisli kompozitler yüksek üretim maliyetlerine sahip olup bu alanda teknolojiye yeteri kadar gelişme sağlanamamıştır [4].

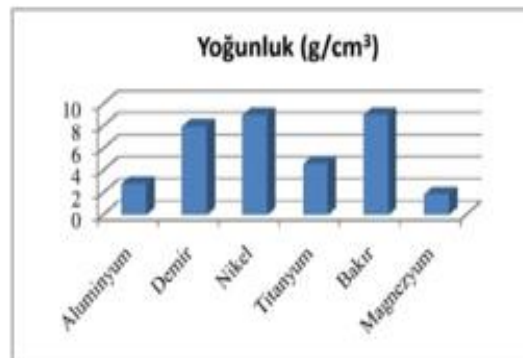
3.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Matris Malzemeleri

Takviye elemanı ile bu takviyenin etrafını çevreleyerek kuvvetli bir şekilde bağ oluşturmayı sağlayan matris malzemesinin bir araya gelmesi sonucu kompozit malzemeler meydana gelir.

Matris malzemesinin temel görevi takviyeyi bir arada tutarak, takviyeye yük iletimi yapıldığı esnada takviyeyi korozyondan ve aşınmadan korumaktır. Kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini matris malzemesi belirlemektedir. Şekil 3.1’de kompozit malzemenin bileşenleri şematik olarak gösterilmektedir [7].



Şekil 3.1. Şematik olarak kompozit malzemenin bileşenleri [7]



Şekil 3.2. MMK’lerde kullanılan matris malzemelerinin yoğunluğa göre karşılaştırılması [17]

3.1.1. Alüminyum

3.1.1.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Boksit cevherinden saf alüminyum eldesinde farklı yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerden Bayer metodu, günümüzde de en fazla tercih edilen yöntemlerden birisidir.

Cevherden saf alüminyum eldesinin ilk aşaması; Bayer metodu kullanılarak boksit cevherinden alümina (Al_2O_3), ikinci aşaması elektroliz yöntemi kullanılarak alüminadan saf alüminyum elde edilmesidir. Ortalama 4 ton kadar boksitten; 2 ton alümina ve 1 ton metal alüminyum temin edilir [18].

Saf alüminyumun bazı özelliklerine çizelge 3.1’ de yer verilmiştir.

Çizelge 3.1.Saf alüminyuma ait özellikler [12]

Özgül ağırlığı	2.78 gr/cm ³
Ergime sıcaklığı	660 °C
Ergime ısısı	-390 (KJ/kg)
Elastik modülü	66 (Gpa)
Isıl genleşme katsayısı	24.10 ⁻⁶ (I/K)
Isı iletim katsayısı	230(W/Mk)
Elektrik iletim katsayısı	40 (m/Ωmm ²)

Yer kabuğunda bol miktarda bulunmakta olan alüminyum elementi, yer kabuğunun yaklaşık %8 ini oluşturmaktadır.

Alüminyum, hafifliği, işlenebilirliği, elektriksel ve termal iletkenliği, iyi korozyon direnci gibi özelliklere sahip olması sebebiyle, kullanımı hızla artmakta ve her geçen gün farklı kullanım alanı sağlanmaktadır [19].

Galvanik seride aktif bir metal olan saf alüminyum, yüzeyinde meydana gelen koruyucu oksit tabakası ile alüminyumun geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüzeyde oluşan bu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini arttırmakta ve bu nedenle alüminyum saflaştırıldıkça iletkenliği ve korozyon direnci artmaktadır. Günümüzde alüminyum alaşımlarının korozyona karşı dayanıksız olmalarından dolayı saf alüminyum giydirilerek korozyondan koruma sağlanmaktadır [20].

Magnezyum ve berilyum elementlerinden sonra en hafif metal olan alüminyum demirden de üç kat daha hafiftir. Yoğunluğu $2,7\text{g/cm}^3$ 'dür. Saflık değerinde yaşanan artışa bağlı olarak sıvı ve katı alüminyumun yoğunluğu düşmektedir [21].

Alüminyum diğer metallerle kıyaslandığında en önemli özellikleri; hafif olması, çeşitli metallerle alaşım oluşturulduğunda yüksek mukavemet göstermesi, tekrar kullanılabilir olması, yüksek düzeyde gösterdiği korozyon direnci, kolay şekil alması, dövülebilir olması, işlenebilir olması, yüksek ısı ve elektrik iletkenlik özelliği ile ışık ve ısı yansıtma gibi özelliklere sahip olmasıdır [22].

Alüminyumun keşfedilmesi ile üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, diğer metallere kıyasla daha yeni olmasına rağmen diğer tüm demir dışı metallere göre oldukça fazla üretime sahiptir [23]. Demir dışı metaller içerisinde, üretim miktarına bakıldığında alüminyum demirden sonra ikinci sırada yer almaktadır [19].

Elektrik ve ısı iletkenliği bakırdan sonra ikinci yüksek metaldir.(İstanbul 1986) Elektrik iletkenliği, bakırın yaklaşık %65' i kadardır [24].

Alüminyum $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ergime sıcaklığına, saf Al 19-20 BHN alaşımları için ise 120 BHN sertlik değerine sahiptir [20]. Alüminyum ve bazı metallerin, özelliklerinin karşılaştırılması çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Alüminyumun ve bazı metallerin, fiziksel ve mekanik özelliklere göre karşılaştırılması [25]

Özellik	Al	Fe	Cu	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,70	7,87	8,94	7,10	1,74
Isıl İletkenlik (cal/cm ² /cm ⁰ C)	0,52	0,19	0,92	0,27	0,37
Isıl Genleşme (mm/mm °C).10 ⁻⁶	24,0	11,9	16,7	33,0	25,7
Ergime Sıcaklığı (°C)	660	1585	1083	420	651
Uzama (%)	43	48	50		
Sertlik (BHN)	19	70	25		

3.1.1.2 Alüminyumun Alaşımları

Saf halde bulunan alüminyum yumuşak, sünek ve elastik özellik göstermektedir. Mukavemeti iyileştirilmek istendiğinde alüminyum başka elementlerle alaşımlandırılır. Alüminyum birçok elementle alaşımlandırılabilir. Alüminyum alaşımları farklı proseslerle kolaylıkla elde edilebilen ve düşük işlenebilirlik özelliğine sahip malzemelerdir [22].

Alüminyum alaşımları; düşük özgül ağırlıkları, çökeltme sertleşmesi ile mukavemetlendirilebilmeleri, birçok ortamdaki üstün korozyon dirençleri, yüksek ısı ve elektrik iletim katsayıları, rahatça işlenebilirlikleri nedeniyle, diğer malzemelere göre avantaj sağlayarak gelişmiş uygulamalarda kendilerine kullanım alanı bulmuştur [23].

Alüminyuma ilave edilen başlıca alaşım elementleri: Magnezyum (Mg), silisyum (Si), mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve titanyumdur.

Alaşıma ilave edilen elementler, alaşımın içerisinde üç şekilde bulunabilir;

1. Alüminyum içerisinde katı fazda çözünebilirler.
2. Katı olarak kalarak ya da belirli oranda eriyerek mekanik karışım meydana getirirler.
3. Alüminyum ile ya da birbirleri ile metaller arası veya kimyasal bileşik oluştururlar [21].

3.1.1.3 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, döküm ve dövme alaşımları olmak üzere iki üretim metoduna sahiptir [12].

3.1.1.3.1 Döküm Alüminyum Alaşımları

Dökümle üretilmiş alaşımların büyük kısmı silisyum içermektedir. Bu gruptaki alüminyum alaşımlarına bakır ilavesi, talaş kaldırma özelliklerini geliştirirken korozyona karşı dayanımlarını azaltır.

Döküm alüminyum alaşımlarına silisyumun dışında magnezyum ilave edilip çökeltilmesi ile mukavemetlendirilen, tuzlu suyun korozif etkilerine karşı da dayanıklı alaşımlar üretilir. Döküm ile üretilen alaşımlar için EN 1706 ve EN 1780 serisi standartlar kullanılmaktadır [27].

3.1.1.3.2 Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alüminyum alaşımlarının simgelendirilmesi ve standartlaştırılmaları ilk defa 1954 yılında Alüminyum Birliği tarafından yapılmıştır. Dört rakamlı bir tanımlama sistemi kullanılır ve günümüzde de kullanılmaktadır [27].

Alüminyum Birliği'nin 4 rakamlı simgeyle yapmış olduğu gruplandırmaya göre bileşikteki temel elementi ilk rakam, esas alaşımdaki orandan farklı bir oranda bulunan element sayısını ise ikinci rakam belirtmektedir.

Serinin orijinal alaşımı ikinci rakamın 0 olması ile gösterilir. Geriye kalan iki rakam 1XXX serisinin dışında bulunan alaşımlarda özel bir değere sahip olmayıp, alaşımı o dizinin diğer alaşımlardan ayırt etmek için kullanılmaktadır.

Dövme alüminyum alaşımlarında Mg, Cu, Si, Mn ve Ni vb. elementler bulunur; genellikle sürekli döküm yöntemi kullanılarak blok halinde oluşturulmasının ardından, homojenleştirme ısı işlemi yapılır, ekstrüzyon ya da haddeleme ile şekil verilir.

Döküm mikro yapısında tane sınırlarında meydana gelen gevrek fazlar, plastik şekil verme uygulamaları esnasında parçalanarak ana kütleye yayılır böylelikle alaşım soğuk şekillendirmeye elverişli hale gelir [27].

Alüminyum alaşımlarının 4 rakamlı simgeleme dizisi çizelge 3.3 ' de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlarının 4 rakamlı simgeleme dizisi

Simge	Temel Alaşım Elementi
1xxx	---
2xxx	Bakır(Cu)
3xxx	Mangan(Mn)
4xxx	Silis(Si)
5xxx	Magnezyum(Mg)
6xxx	Magnezyum + Silis
7xxx	Çinko(Zn)
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan dizi

3.1.1.4 Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkileri

Alüminyum metalinin elektriksel uygulamalar dışında saf halde kullanımı oldukça sınırlıdır. Saf halde alüminyum, özellikle elektrik iletiminin önemsendiği alanlarda, ambalaj ve dekoratif amaçlı yerlerde kullanım alanına sahiptir.

Saf haldeki alüminyum mekanik ve dökülebilirlik özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı elementler ile alaşımlandırılarak kullanılır [28].

Magnezyum.

Alüminyuma magnezyum ilave edilmesi yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci ve kaynak edilebilme özelliği sağlarken, alüminyum-bakır alaşımlarının kolaylıkla yaşlandırma ısı işlemine uğrayabilmesine de olanak sağlar [28].

Çinko.

Alüminyum-çinko alaşımları yüksek mukavemetli alaşımlardır. Alüminyum, yüksek orada çinko ile alaşımlandığında süper plastik özellik gösterir [28]. Zn, dayanımı artırır ve çökme sertleşmesine olanak sağlar [29]. Dökümü zorlaştırmaktadır.

Bakır.

Alüminyum-bakır alaşımları, %2-10 oranlarında bakır içerebilir. Cu, dayanımı artırır ve çökme sertleşmesine olanak sağlar. Ancak korozyon dayanımını, sünekliği ve kaynak edilebilme özelliğini düşürür. Çoğunlukla yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artırır [29].

Mangan.

Mangan çoğunlukla işlem alaşımlarında kullanılan bir elementtir. Mangan elementi sertleştirici özelliğinin yanında, demirin kötü etkisini de engellemektedir. Mangan döküm alaşımlarında sınırlı oranda kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarına mangan ilave edilmesi mekanik özellikleri artırırken, korozyon direncinde herhangi bir düşüşe sebep olmaz. %0.75 Mn bileşimine kadar mangan ilave edilmesi sertliği artırırken, süneklikte ise bir miktar düşüşe sebep olur [28].

Silisyum.

Silisyum, bakırdan sonra alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Alüminyumla alaşımlandırılması ile akışkanlık, mukavemet ayrıca kaynak edilebilme özelliği sağlar [28]. Bunların dışında sıvı alüminyumun akışkanlığını artırıcı etki gösterirken, sıcak çatlama eğiliminde ise azaltıcı yönde etki gösterir [21].

Silisyum elementi, alüminyumda cevherden gelen en fazla miktardaki empürite elementidir [28]. Çekme mukavemetleri yüksek olmayan bu alaşımların mukavemet artışı silisyum oranına bağlı olarak değişir [21].

Nikel.

Nikel yüksek çalışma sıcaklıklarında dayanımı artırıcı özellik gösterir. Bakır-alüminyum ve alüminyum-silisyum alaşımlarına nikel ilavesi yüksek sıcaklıkta dayanımı artırır ve genleşme katsayısını düşürür [29].

Titanyum.

Ti ortalama tane büyüklüğünü azaltır [29]. Titanyum döküm alaşımlarında tane küçültücü alaşım elementidir [28].

Krom.

Krom, alüminyum-magnezyum alaşımlarının tane yapısını kontrol etmek, tane büyümesini engellemek ayrıca sıcak haddelme ve ısı işlemler esnasında yeniden kristalleşmeyi önlemek amacıyla kullanılır [29].

Demir.

Demir çoğunlukla alüminyum alaşımlarında istenmeyen ve sertlik oluşturan bir elementtir. Ticari bileşimlerde birinci empürite dir ve mümkün olduğu kadar az olması istenir. Dezavantajlarıyla birlikte, alüminyum-bakır-nikel alaşımlarında korozyon direncini ve yüksek sıcaklıkta mukavemet artırma özelliği bulunur [28]. Döküm alaşımlarının sıcak çatlama eğilimini azaltıcı etkisi de bulunur. Demir alüminyum alaşımlarında tane küçültme etkisi gösterir [21].

3.1.2 Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyumun $1,74 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip olup alaşımlandırıldığında mekanik özelliklerinde iyileşmeler görülür. Oksijene afinitesi fazladır, elastiklik modülü ve yorulma direnci ise düşüktür. Alaşımlandırma yaparak mekanik özelliklerinde gelişmeler sağlanabilir.

Magnezyuma ilave edilen en önemli alaşım elementleri çinko ve alüminyumdur [15]. Alüminyum % 2,5-8, çinko ise % 0,5-4 oranında eklenir. Böylelikle dayanım artırılır. Bu alaşımlar uzay araçları ve yüksek hızlı makine araçlarında kullanılır [12].

3.1.3 Titanyum ve Alaşımları

Titanyumun korozyona karşı iyi bir dayanım sağlar. Yüzeyde oluşturduğu TiO_2 tabakası sayesinde oldukça iyi korozyon direnci gösterir. Titanyum ve alaşımları bu özelliğinden dolayı vücuda yerleştirilen parçalarda, işlem kazanları gibi pek çok uygulama alanında kullanıma sahiptir [12].

Alüminyuma göre oldukça rijit ve dayanıklı olan titanyum metali mukavemet / özgül ağırlık oranlarının çok iyi olması sebebiyle uçak ve uzay sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Avantajlarının yanında dezavantajı pahalı olmasıdır [12]. Ayrıca titanyumun elde edilme ve işleme maliyetleri oldukça yüksektir [30].

3.2 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

Kompozitlerde takviye malzemenin temel görevi yükü taşıyarak matrise dayanım kazandırmaktır. Kullanılan takviyeler; kısa fiber, uzun fiber ya da parçacık şeklinde bulunabilmektedir. MMK'lerde Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, ve C gibi takviyeler kullanılmaktadır [5].

Kompozit malzemedeki kullanılacak takviyenin seçim kriterleri şu şekilde sıralanabilir:

- Elastik modül,
- Çekme dayanımı,
- Yoğunluk,
- Ergime sıcaklığı,
- Boyut-şekil,
- Matris malzemesi ile uyum,
- Fiyat,
- Kimyasal bileşim,
- Kristal yapı ve
- Oluşum serbest enerjisi
- Üretim kolaylığı [1]

Kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları ve bu takviye elemanlarının uygulama alanları çizelge 3.4' de verilmiştir.

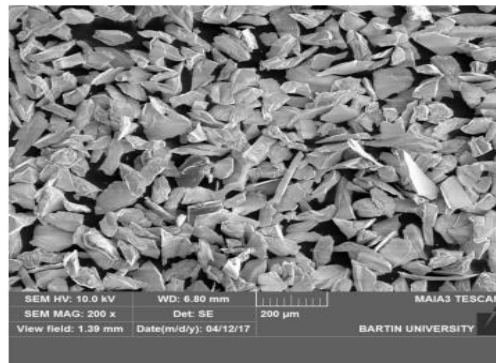
Çizelge 3.4. Takviye malzemeler ve uygulama alanları [31]

Metal	Karbürler	Nitrürler	Borürler	Oksitler	Uygulama alanları
Bor	B ₄ C	BN	-	-	Havacılık, nükleer
Tantalyum	TaC	TaN	TaB ₂	-	Havacılık
Zirkonyum	ZrC	ZrN	ZrB ₂	ZrO ₂	Havacılık, otomotiv, nükleer
Hafniyum	HfC	HfN	HfB	HfO ₂	Havacılık, nükleer
Alüminyum	-	AlN	-	Al ₂ O ₃	Otomotiv, metal çalışmaları
Silisyum	SiC	Si ₃ N ₄	-	-	Otomotiv, havacılık, metal çalışmaları
Titanyum	TiC	TiN	TiB ₂	-	Havacılık
Krom	CrC	-	CrB ₂	CrO ₂	Havacılık, otomotiv
Molibden	MoC	-	MoB	-	Havacılık, otomotiv
Tungsten	WC	-	WB	-	Metal çalışmaları
Toryum	ThC ₂	ThN	-	ThO ₂	Havacılık

3.2.1 Alümina(Al₂O₃)

Alüminyum alaşımlarına Al₂O₃, SiC, SiO₂ gibi seramik partiküllerin eklenmesiyle üretilen kompozit malzemelerde aşınma dayanımlarında artış olduğu bilinmektedir [1].

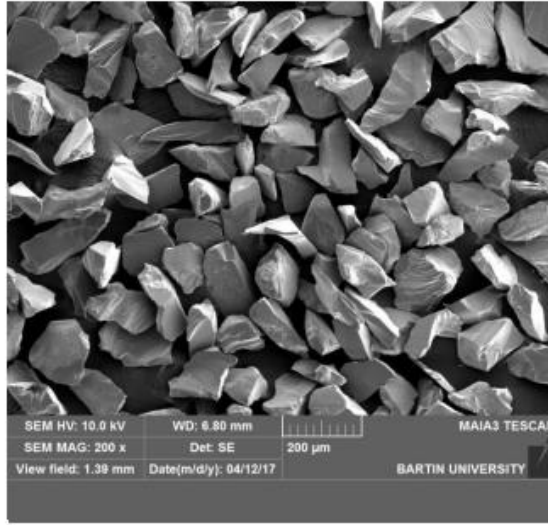
Oksitler arasında en yüksek aşınma direnci, sertlik ve mukavemete sahip olan oksit alüminadır. Bu özellikleri sebebiyle alümina, kesme aletleri, rulmanlar ve aşındırıcı malzeme üretiminde tercih edilmektedir. Alüminanın elektrik iletme direnci yüksektir. Bu sebeple; saf alümina, elektrik izolasyon bileşeni olarak da kullanılmaktadır [30]. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Al₂O₃' ün SEM görüntüsü [7]

3.2.2 Silisyum Karbür(SiC)

Silisyum karbür, alüminyum alaşım esaslı metal matrisli kompozitlerde önemli takviye fazı haline gelmiştir. Silisyum karbür partikülleri yüksek mukavemet ve elastikiyet modüllü, yüksek termal ve elektrik dirençli, sert ve gevrek özelliklere sahip seramik partiküllerdir. Partikül boyutu yaklaşık 2-20 μ m arasındadır.[30] Silisyum karbür, 2500 $^{\circ}$ C bozunma sıcaklığına ve 3,20 g/cm³ yoğunluğa sahiptir [7]. SiC ' e ait SEM görüntüsü şekil 3.4 ' de verilmiştir.



Şekil 3.4. SiC' ün SEM görüntüsü [7]

3.2.3 Bor Karbür(B₄C)

Öz kütlesi 2,51 g/cm³, erime noktası 2450 $^{\circ}$ C, çekme mukavemeti 155 N/mm², basma dayanımı 2850 N/mm²[9] olan bor karbür, oda sıcaklığında katı, siyah renkli bir malzemedir [33].

Sertliğinin yüksek olması, mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip olmasına karşın bor karbürün maliyetinin yüksek olması nedeniyle kompozitlerdeki kullanımı sınırlıdır [9].

3.2.4 Yumurta Kabuğu

Çevre kirliliğine neden olan endüstriyel atıkların geri kazanımı son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir[7]. Bu endüstriyel atık malzemelerden biriside tavuk yumurtası kabuklarıdır [34].

Yumurta kabuğu, yumurtanın ağırlığının % 10 ile 12'sini oluşturur [7]. Yumurta kabuğu kalsiyum açısından oldukça zengindir ve kireçtaşına benzer yapıya sahiptir [34]. % 98'i inorganik maddelerden oluşur ve kabuğun yaklaşık % 93,7'i kalsiyum karbonattır. Düşük oranlarda kalsiyum fosfat, magnezyum karbonat, organik madde, magnezyum fosfat ve su içerir. Yumurta kabuğunun rengi, hayvanın genetiği ile ilgili bir durumdur. Yumurta kabuğu tozu 2,22 g/cm³ yoğunluk değerine sahiptir [7]. Yumurta kabuğuna ait kimyasal bileşenlere çizelge 3.5' de yer verilmiştir.

Çizelge 3.5 Yumurta kabuğuna ait kimyasal bileşenler

Bileşen	Oran (%)
Kalsiyum karbonat	93.7
Magnezyum karbonat	1.0
Kalsiyum fosfat	1.0
Organik maddeler	3.3
Su	0.1

S.B. Hassan ve V.S. Aigbodion, ES partiküllerinin Al-Cu-Mg/ ES partikül kompozitlerinin mikro yapıları ve özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yoğunluk, gerilme mukavemeti, sertlik değerleri ve darbe enerjisi gibi fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde durmuşlardır.

Yapılan bu çalışma ile karbonize ES' nin Al-Cu-Mg alaşımında takviye olarak kullanılmasının, karbonize edilmemiş ES parçacıklarına nazaran daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu ve özellikleri geliştirmek için ağırlıkça %12 'ye kadar ES parçacıklarının kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır [35].

Dwiwedi ve ark. Yumurta Kabuğu Takviyeli Al6061 Matris Kompozitlerin mekanik ve Mikroyapısal özellikleri üzerine bir inceleme yapmışlardır. Çalışmada, kompozitlerin çekme mukavemetinin ve sertliğinin, ES partiküllerinin eklenmesine bağlı olarak artış gösterdiği ve maksimum değerlerin ağırlıkça % 4' te sağlandığı gözlenmiştir [36].

S.B. Hassan ve diğ. Polyester/ yumurta kabuğu tanecikli kompozitlerin geliştirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Polyester matrisinde takviye elemanı olarak karbonize ve karbonize olmayan yumurta kabuğu parçacıkları kullanılmıştır.

Yaptıkları bu çalışmada takviye olarak poliestere ağırlıkça %10 ve %50 oranlarında yumurta kabuğu ilave edilerek, gerilme mukavemeti, basınç dayanımı, sertlik, eğilme mukavemeti, darbe enerjisi gibi çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda bu özelliklerin artan yumurta kabuğu ilavesiyle arttığı, karbonize ES parçacıklarının takviye olarak kullanılmasının, karbonize edilmemiş ES parçacıklarına nazaran daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır [37].

3.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları

Kompozitlerin farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle elde edilmeleri geniş uygulama alanına sahip olmalarına olanak sağlamıştır. Kompozit malzemelerin kullanıldığı endüstrilerde, bu malzemelerden en yüksek performans amaçlanmaktadır. Ancak bütün uygulamalarda bu durum mümkün değildir bazı özelliklerden taviz verilerek optimum değer sağlanabilmektedir [38].

MMK ile elde edilen yüksek mukavemet değerleri ve yoğunluğun düşük olması ile ağırlıkta sağlanan azalma ve yüksek tokluk, düşük termal şok ve genleşme katsayısı, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği vb. özellikleri nedeniyle otomotiv, uzay-havacılık ve farklı birçok uygulama için önemli bir malzeme haline gelmiştir [16].

MMK uzay ve havacılık uygulamalarında platform taşıyıcı parçaları, haberleşme cihazları, uçak iniş parçaları gibi uygulama alanlarında kullanılırken; otomotivde fren disklerinde, motor parçalarının üretiminde kullanılmaktadır.

Metal malzemelere kıyasla MMK'lerin maliyetleri yüksektir ve bu tür malzemeler savunma sanayi, delici takım gibi yüksek performansın beklendiği alanlarda kullanılmaktadır [4]. Şekil 3.5 'de bu kompozitlerin bazı uygulama alanlarına yer verilmiştir.



Şekil 3.5. Al-MMK'lerin kullanıldığı bazı uygulama alanları (a) piston kolu, (b) Fren parçaları, (c) Kardan mili [38]

Motor bloklarında bulunan silindir gömleklerinde grafit- Al_2O_3 parçacık takviyeli Al matrisli kompozitler kullanılarak üretilmesi, ısı iletimini artırmasıyla birlikte kompozitin ısıl genleşme katsayısının düşük olması nedeniyle piston ile gömlek arasındaki toleransları düşürerek, motorun verimini arttırmış ve böylelikle yakıttan tasarruf sağlanmıştır [38]. Alüminyum esaslı metal matris kompozit kullanılarak üretilmiş motor bloğu şekil 3.6 'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretilmiş Honda marka aracın motor bloğu [17]

Havacılık ve uçak sanayiinde roket, helikopter parçalarında grafit elyaf ile takviye edilen Al matrisli kompozitler kullanılırken helikopterlerin dişli kutularının imalatında ise Al_2O_3 elyaf ile takviye edilen Al matrisli kompozitler kullanılır [38].

Uçak kanat panellerinde SiCw takviyeli kompozitler kullanılarak üretimin yapılmasıyla %20-40 oranında hafiflik sağlanmıştır. Yine aynı şekilde metal matrisli kompozitler ile üretilen uçak iskeleti ve gövdesinde de aynı şekilde azalma görülmüştür.

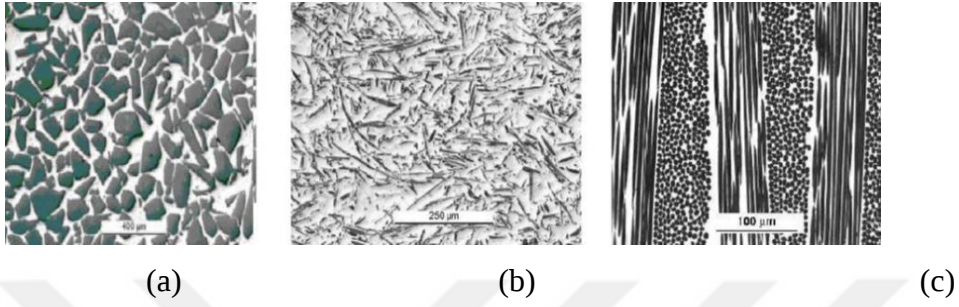
Spor alanında ise tenis racketleri, kayaklar, tekerlek jantları ve golf sopalarının üretiminde de metal matrisli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Grafit/epoksi racketlerle ile %20 SiC partikül takviyeli 6061 Al alaşım matrisli kompozit racketler kıyaslandığında düşük maliyetlerde %25 e kadar titreşim azalması ve mukavemette de artış olduğu gözlenmiştir [39]. Kompozit malzeme kullanılarak üretilen spor malzemeleri şekil 3.7 ' de verilmiştir.



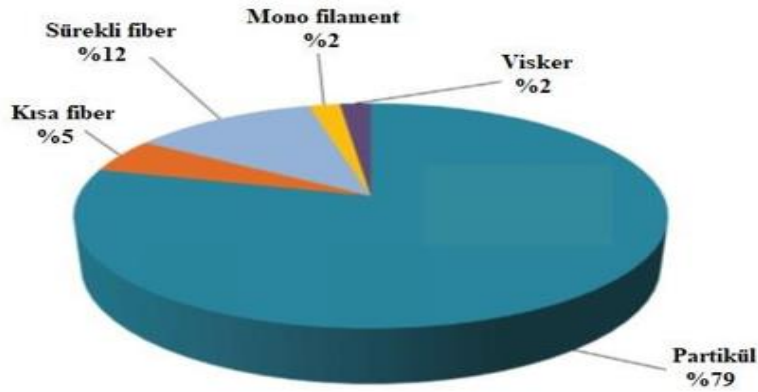
Şekil 3.7. Kompozit malzeme kullanılan spor malzemeleri [40]

3.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması

MMK malzemeler, metal matris içerisinde sürekli ya da kısa fiber, visker ya da partikül halinde takviye fazlarının bir araya gelmesi sonucu meydana gelmektedir. (Şekil 3.9) Bu kompozit malzemeler üç gruba ayrılmaktadır.(şekil 3.8)



Şekil 3.8. Takviye elemanının geometrisine göre a) partikül takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) sürekli fiber takviyeli [39]



Şekil 3.9. MMK üretiminde kullanılan takviye elemanı türlerinin oranları [3]

Parçacık takviyeli kompozitlerde, homojen şekilde bulunan sert veya gevrek yapı, yumuşak bir matris ile çevrilmiştir[39]. Kompozit malzemelerde, büyük parçacık halinde kullanıldıklarında yükün bileşenler tarafından birlikte taşınması sağlanırken, küçük parçacıklar halinde kullanıldıklarında ise dislokasyonların hareketlerini engelleyerek kompozit malzemenin mukavemetini artırıcı etki göstermektedir [41] .

Bu kompozitlerde en fazla Al_2O_3 , SiC, B_4C Si_3N_4 tercih edilir. C, B, SiC ve Al_2O_3 bu tür kompozitlerde en çok tercih edilen takviye elamanlarıdır. Yüksek maliyetli olmaları sebebiyle sürekli fiber takviyeli kompozitler, genellikle askeri ve özel amaçlı uygulamalarla sınırlandırılmıştır.

Kısa fiber takviyeli metal matris kompozitlerde takviye elemanı olarak kısa fiberler ya da kılcal kristaller kullanılır. Bu kompozitler, sürekli fiberli kompozitlere kıyasla üretim işlemleri hızlı, maliyetleri düşük, şekil verme yetenekleri ise yüksektir [39].

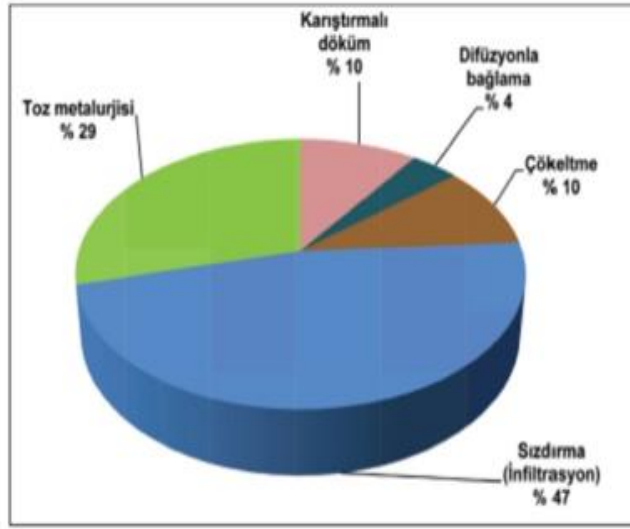
3.5 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Geleneksel üretim yöntemleri ile üretimlerinin zor olması sebebiyle, kompozitlerin özelliklerini ve yapısını optimize etmek amacıyla farklı üretim yöntemleri geliştirilmiştir [16].

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan yöntemler; katı faz, sıvı faz ve diğer üretim yöntemleri olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu üretim Yöntemlerine çizelge 3.6’ da, şekil 3.10 ise firmaların kullandığı üretim yöntemlerinin oranlarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.6 Metal matrisli kompozit üretim teknikleri [42]

Katı faz Üretim Yöntemleri	Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	Diğer Yöntemler
Toz metalurjisi Yöntemi	Sıvı Metal İnfiltrasyon	Rheocasting Döküm
		Compocasting Döküm
	Sıkıştırma Döküm	Vidalı Ekstrüzyon
		In-Situ Tekniği
Difüzyon Bağı Yöntemi	Santrifüj Döküm	Ekzotermik
	Plazma Püskürtme	Dispersiyon(XD)
	Sıvı Metal Karıştırma	Basınç Takviyeli Ekzotermik Dispersiyon (PAXD)



Şekil 3.10. Firmaların kullandığı MMK üretim yöntemleri ve oranları [32]

3.5.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri

Katı faz üretim yöntemi kısaca, takviye partiküllerinin karıştırılması, preslenmesi, ekstrüzyon ve ya dövme gibi ikincil işlemler uygulanarak üretimdir. Süreksiz takviyelerin, toz metalurjisi yöntemi dışında uzun fiberlerin kullanıldığı difüzyonla bağlama yöntemi de diğer bir katı faz üretim yöntemidir.

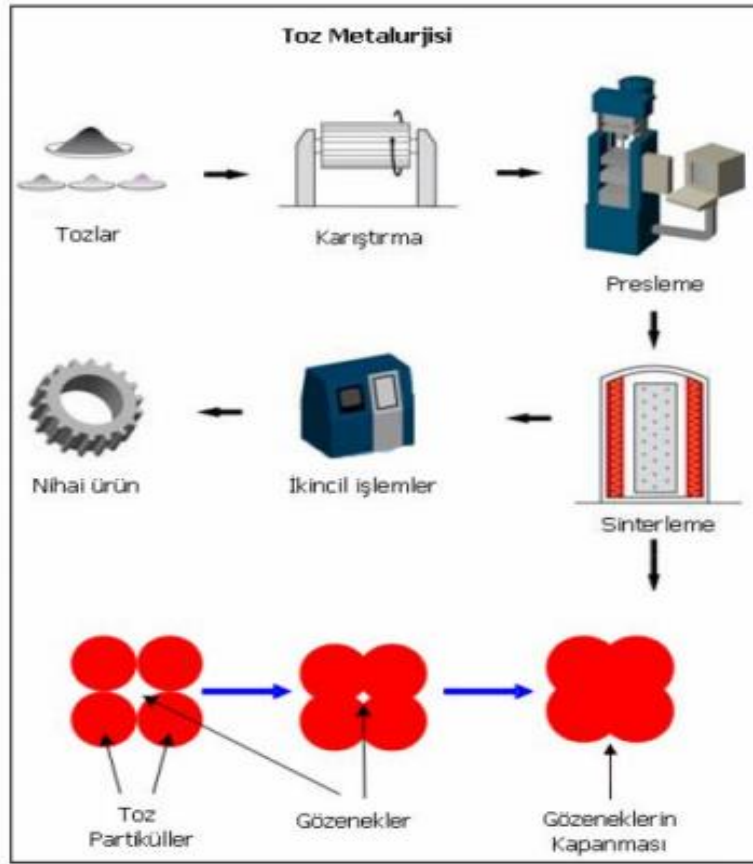
3.5.1.1 Toz Metalurjisi

Toz metalurjisi metal matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntemin ilk aşamasında visker ya da partikül şeklindeki takviye malzemesine metal veya alaşım tozları elenerek karıştırılır. Karıştırma, takviyelerin matris içerisinde dağılımını etkilediğinden dolayı oldukça önemlidir.

Metal veya alaşım tozu parçacıklarının üzerinde meydana gelebilecek olan oksit tabakaları, matris -takviye arayüzey mukavemetini azaltarak boşlukların oluşmasına sebep olur [43].

Hazırlanan karışım istenilen şekli vermek üzere kalıbın içerisine boşaltılır[42]. Ardından soğuk ya da sıcak pres kullanılarak şekil verilir. Soğuk preslemenin ardından şekil alan ürün, takviye ve matris arayüzey mukavemetinin artırılması için [43] ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulur [42].

Yöntemin aşamaları tozun üretimi, toz işleme, presleme, sinterleme işlemleri şeklindedir. Kısaca toz metalurjisi, metal veya seramik tozlarını bir kalıpta şekillendirilerek, şekillendirme esnasında ya da sonrasında ergime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklıkta sinterlenmesi sürecidir [44] .Yöntem şekil 3.11’de verilmiştir.

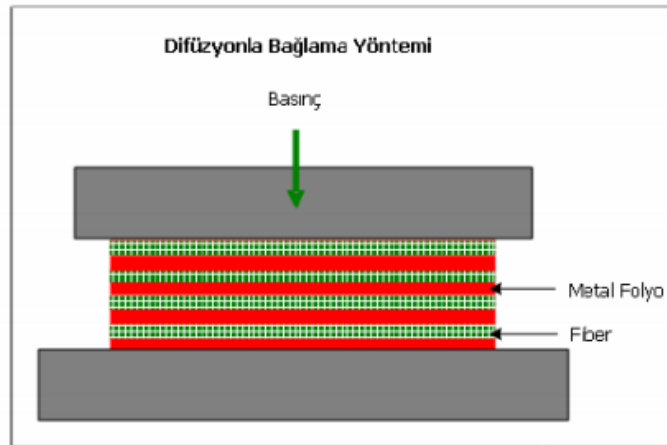


Şekil 3.11. Toz metalurjisi yöntemi [33]

3.5.1.2 Difüzyonla Bağlama Yöntemi

Fiber takviyeli MMK'lerin üretiminde bu yöntem kullanılmaktadır. Yöntemde, levha ya da yaprak şeklinde bulunan matris ile levha ya da uzun fiber şeklinde bulunan takviyelerin istenilen yönlerde, açılarda ve aralıklarda üst üste konulduktan sonra ergime noktasının altında bir sıcaklıkta preslenmesi ile difüzyon birleşmeleri sağlanmaktadır.

Yöntemde kullanılan basınç, sıcaklık ve bekleme süresi kompozit yapıya göre değişmektedir. Difüzyonla birleştirilecek yüzeylerin düzgün, temiz ve oksitsiz olması bu yöntem için oldukça önemlidir. MMK'lerin üretiminde maliyeti yüksek olan ve kompleks parçaların üretiminin zor olduğu yöntemlerden biridir [45]. Yöntem şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.12. Difüzyonla bağlama yönteminin şematik gösterimi [33]

3.5.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Bu yöntemlerde, matris malzemesi ergitilir ve takviye ile birleştirilir. Sıvı faz üretim yöntemleri ucuz ve uygulanabilir olmaları ayrıca kompleks parçaların üretimine de elverişli olmaları sebebiyle geniş kullanım alanına sahiptirler.

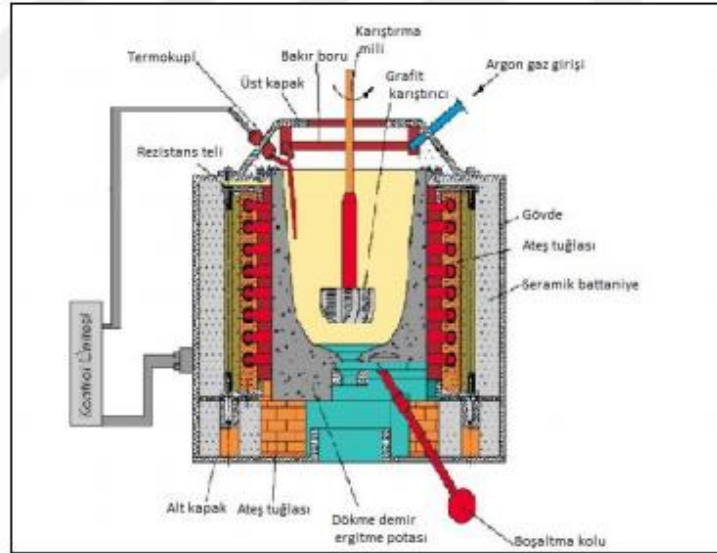
Sıvı faz üretim yöntemleri, karıştırmalı döküm, sıkıştırırmalı döküm, basınçlı ve basınçsız infiltrasyon, plazma püskürtme yöntemleridir [43].

3.5.2.1 Karıştırılmalı Döküm

Bu yöntemde kullanılan takviye elemanları çoğunlukla parçacık, kırılmış elyaf ya da kılcal kristal olarak bulunur. Metal esaslı kompozitlerde iyi özellikler elde etmek matris ile takviyenin homojenliğine, matris- takviye arasındaki bağa bağlıdır [46].

Matris içerisinde takviye partiküllerinin homojen bir şekilde dağılması için bir karıştırıcı yardımıyla sıvı metal ve takviye partikülleri karıştırılır. Ardından karışım soğumaya bırakılarak kompozit malzeme elde edilir [17].

Bu yöntem ile homojen bir yapı elde edilmekle birlikte, malzemedeki gözenek ve boşluklar sıklıkla karşılaşılan problemlerdir [46]. Yöntem şekil 3.13’ de verilmiştir.



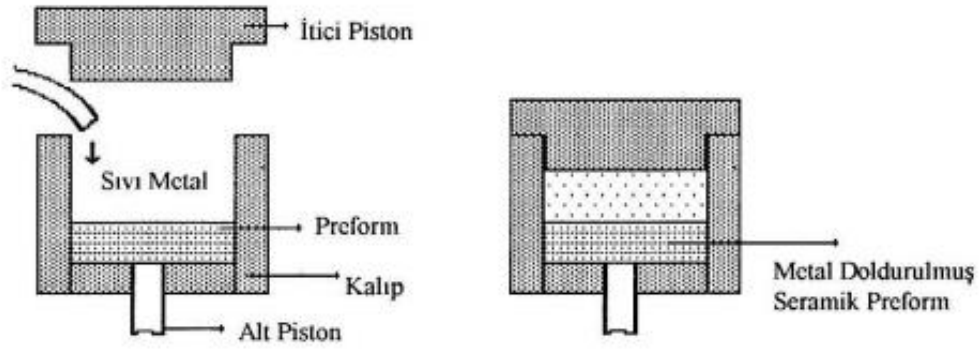
Şekil 3.13. Vorteks yöntemi[47]

3.5.2.2 Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi

Sıkıştırılmalı dökümde, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye fazının sıcaklığı, sıvı sıcaklığı, uygulanan basıncın süresi ve şiddeti, preformda partiküllerin paketlenme yoğunluğu üretilen kompozitlerin kalitesini etkileyen önemli değişkenlerdir [16].

Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirildiğinde üretimden kaynaklı, gaz boşlukları ve döküm hataları en aza inmektedir.

Yüzey alanı büyük olan malzemelerde gerekli olan basıncın yüksek olmasından dolayı küçük parçaların üretimi için daha uygun bir yöntemdir [2]. En yaygın uygulama alanları havacılık ve otomotiv sektörleridir [48]. Yöntem şekil 3.14' de verilmiştir.



Şekil 3.14. Sıkıştırma döküm yöntemi [43]

3.5.2.3 İnfiltrasyon Yöntemi

İnfiltrasyon yöntemi, ön şekil verilmiş seramik fazlı gözenekli preformun sıvı metal veya alaşımların emdirilmesiyle yapılan bir kompozit üretim tekniğidir [49].

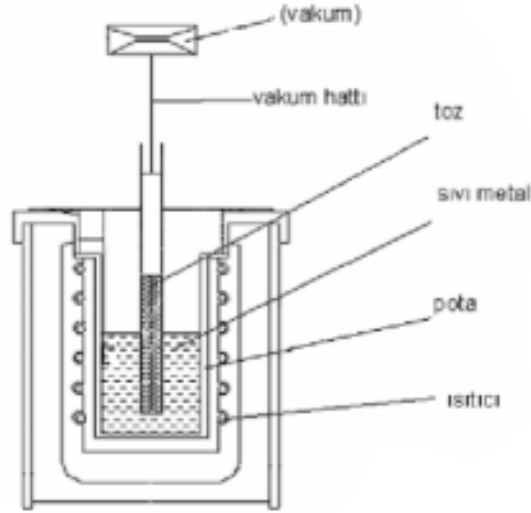
Bu yöntemde, ön şekil verilmiş (preform) takviye elemanları tane boyutlarına bağlı olarak kalıp içerisinde boşluklu ve gözenekli bir yapı oluşturur. Matris malzemesini oluşturan sıvı metal, emdirme işlemiyle parçacık halindeki takviye elemanlarını ıslatarak bağ oluşumunu sağlar [46].

3.5.2.3.1 Vakum İnfiltrasyon Yöntemi

Yöntemde, sıvı metal oksidasyonu ve gaz boşluğu oluşumunu engellemek için vakum altında gerçekleştirilmektedir.

Bu yöntem ile üretilecek metal matrisli kompozit malzemelerde, ilk olarak yeterli gözenekliliğe sahip seramik fazlı preform üretimiyle başlar [47]. Hazırlanan seramik fazlı gözenekli preform kalıp boşluğuna yerleştirilerek sıvı metal matris alaşımı vakum etkisiyle gözenekli seramik preform içine emdirilir. Emdirilme işleminin ardından kompozit malzeme kalıptan çıkarılır[49].

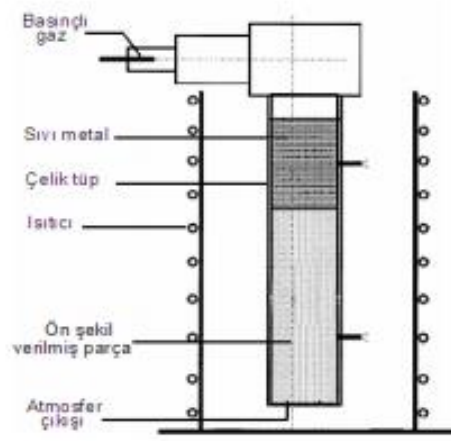
Yöntem için gerekli parametreler; takviye hacim oranı, parçacık boyutu, uygulanan vakum değeri, infiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon süresidir [47]. Vakum infiltrasyon düzeneği şekil 3.15 de verilmiştir.



Şekil 3.15. Vakum infiltrasyon düzeneği [5]

3.5.2.3.2 Basınçlı infiltrasyon Yöntemi

Bu yöntem, ön şekil verilmiş gözenekli preforma koruyucu bir gaz uygulanarak ergiyik metalin infiltre edildiği bir yöntemdir. Yöntemde uygulanan basınç, ergiyik metalin yüzeyine uygulanmaktadır. Ergiyik metalin sıcaklığı, takviye elemanının tane büyüklüğü, infiltrasyon süresi ve infiltrasyon basıncı yöntemin önemli parametreleridir [47]. Yöntem şekil 3.16’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [45]

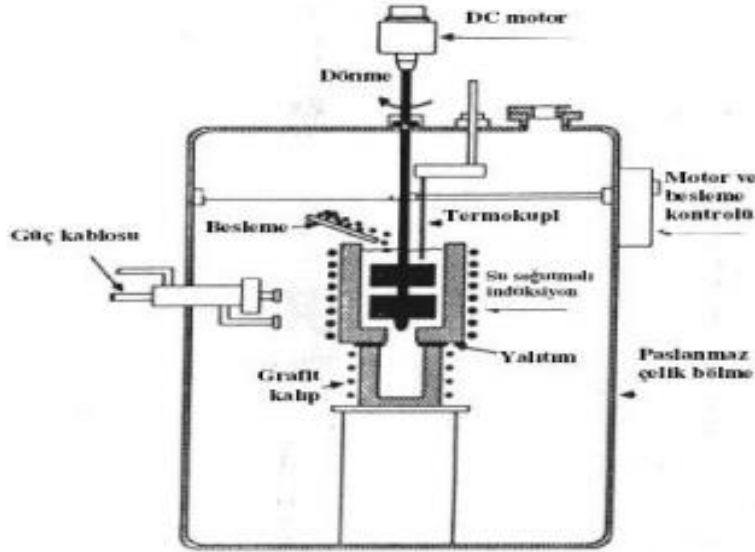
3.5.2.4 Compo-Casting(Yarı Katı Karıştırma) Döküm Yöntemi

Bu yöntemin çalışma prensibi, karıştırma döküm yöntemine mekanik olarak benzerlik göstermekle beraber [2] karıştırılmalı döküm yönteminin geliştirilmiş halidir.

Partikül, whisker ve süreksiz fiberlerle takviye edilen kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ekonomik bir yöntemdir. Takviye fazı ile matris arasındaki ıslanabilirliği artırmak için karıştırma işlemine devam edilir. Karıştırma işleminden sonra likidüs sıcaklığının üzerine çıkarılır, eriyik kalıba dökülerek, basınç altında katılaşması sağlanır.

Bu döküm yöntemi, geleneksel döküm uygulamalarına kıyasla daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Takviye fazları arasındaki porozitelerin tamamıyla giderilememesi ve karıştırma sırasında sürtünme etkisiyle fiberlerde hasar meydana gelmesi ise yöntemin dezavantajını oluşturur [45].

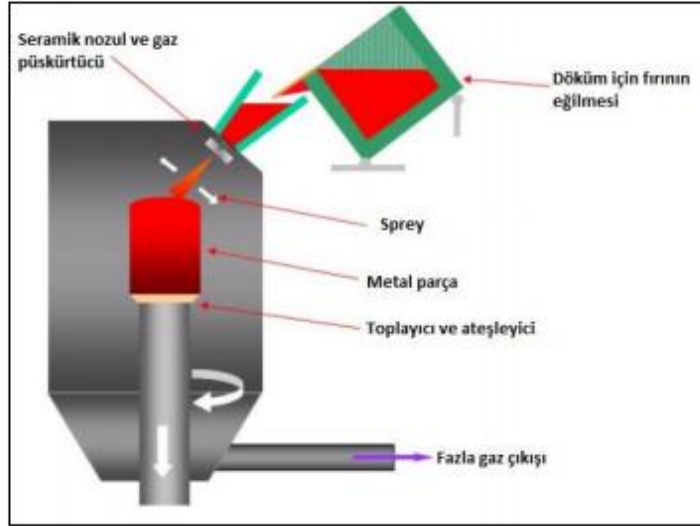
Yöntem şekil 3.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Compo-Casting döküm yönteminin şematik gösterimi [45]

3.5.2.5 Sprey Biriktirme Yöntemi

Bu yöntem, bir ergiğin atomize edilerek bir altlık üzerinde yarı katı damlacıklar halinde biriktirilerek hızlıca karıştırılması esasına dayanır. Bu yöntem kullanılarak boru, tüp, yuvarlak kütük ya da plaka şeklinde ürünler elde edilebilmektedir. Yöntem 3.18’de gösterilmiştir.

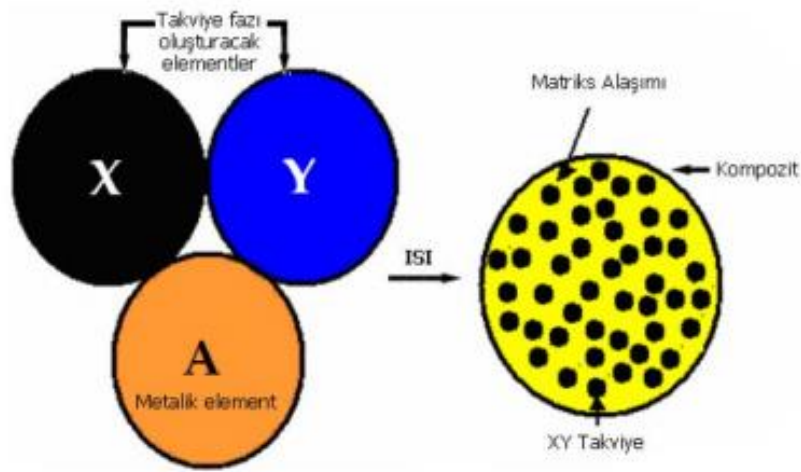


Şekil 3.18. Sprey yöntemi [47]

3.5.2.6 In-Situ Üretim Yöntemi

In-situ üretim yöntemi, matris malzemesi içinde takviye parçacıklarının üretildiği bir yöntemdir [47].

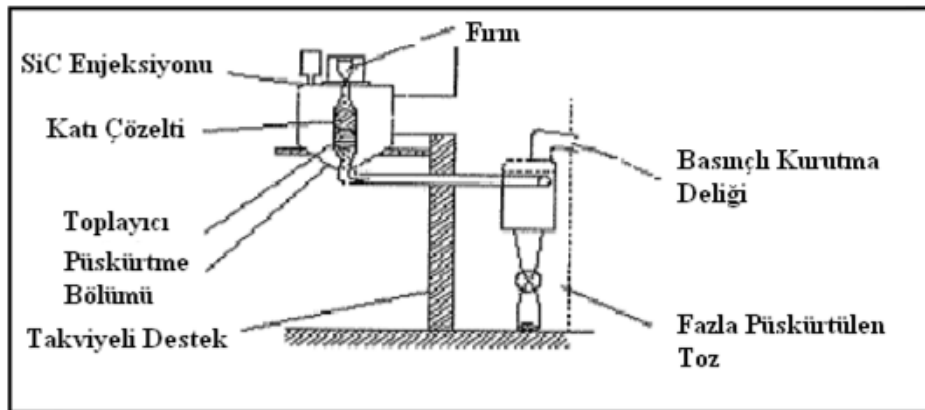
Burada sıvı haldeki ana faza takviye elemanı ilavesi yapılmamaktadır. Sıvı ana faz içindeki elementlerin çeşitli gazlar ve sıcaklığın etkisiyle takviye elemanını oluşturacak bir kimyasal reaksiyona girmesi sağlanır. Reaksiyon sonucunda ana faz içerisinde takviye elemanları oluşur [2]. Bu yöntemle ile en çok üretilen takviye partikülleri TiB_2 , TiC , Mg_2Si 'dir [47]. Yöntem şekil 3.19' da verilmiştir.



Şekil 3.19. İn-Situ yöntemi [33]

3.5.2.7 Plazma Püskürtme

Plazma püskürtme yönteminde, püskürtülecek olan alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ardından potaya basınç uygulanır. Kaplanmış çökelmiş çubuk haddelenmesi için soğuma işleminin ardından göbekten çıkarılır [50]. Yöntem şekil 3.20’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Plazma püskürtme yönteminin şematik gösterimi [50]

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında kullanılan toz metalurjisi yöntemi ile üretilen numuneler Malezya Putra Üniversitesi Laboratuvarı'nda, infiltrasyon yöntemi ile üretilen numuneler ise Kırıkkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan Döküm Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Numunelerin metalografik çalışmaları, SEM, XRD görüntüleri, EDS analizleri ve sertlik ölçümleri Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.1 Malzeme ve Yöntem

Kompozit malzeme üretiminde; matris malzemesi olarak ticari saflıkta alüminyum, takviye elemanı olarak yumurta kabuğu kullanılmıştır. Vakum infiltrasyon yöntemi ve toz metalurjisi yöntemleri kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir.

4.1.1 Matris Malzemesi

%99 saflıkta ticari alüminyum, kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan alüminyum Malezya Putra Üniversitesinden temin edilmiştir. Çizelge 4.1' de alüminyumun fiziksel -mekanik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Saf alüminyuma ait fiziksel ve mekanik özellikler [51]

Özellik	Değer
Kristal yapısı	YMK
Yoğunluk(g/cm ³)(20 °C’ de)	2,7
Ergime Sıcaklığı (°C)	660,2
Elastisite modülü (GPa)	68,3
Elektrik iletkenliği(m Ω ⁻¹) (20 °C de)	37,6
Sertlik (HB)	~21
Vickers Sertliği (HV)	~28
Çekme dayanımı (MPa)	~90
Poisson oranı	0,34

4.1.2 Takviye Malzemesi

Takviye malzemesi yumurta kabukları, Malezya kolej sebelas yemekhanesinden temin edilmiştir. Kullanılan yumurta kabukları şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Yumurta kabuklarının toz haline getirilmeleri, karbonizasyon işlemleri Malezya Üniversitesi (UPM) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Yumurta Kabuğu işlem aşamaları

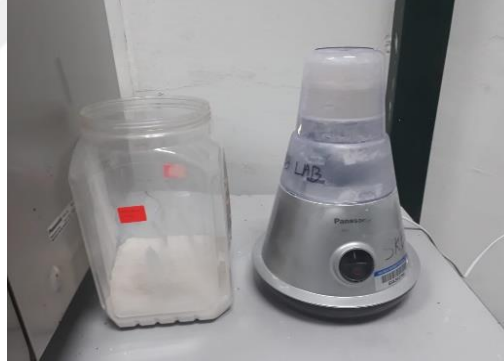
4.2 TM Deney Numunelerinin Hazırlanması

Malezya kolej sebelas yemekhanesinden temin edilen yumurta kabukları yıkanarak güneşte kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından yumurta kabuklarının içinde bulunan zarlar temizlenmiştir. Temizlenen zarlar şekil 4.2’de verilmiştir.



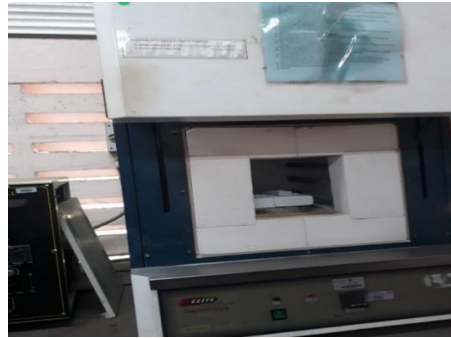
Şekil 4.2.Yumurta zarı

Bu işlemlerin ardından hazırlanan yumurta kabukları panasor marka robot kullanılarak toz haline getirilmiştir. Şekil 4.3’de kullanılan robot görülmektedir.



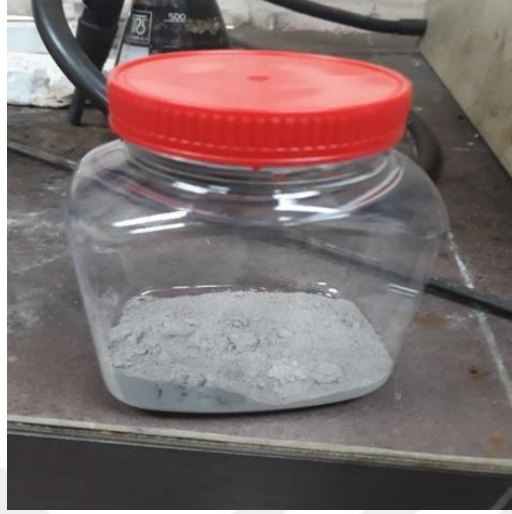
Şekil 4.3.Panasor marka robot

Hazırlanan toz karbonizasyon işlemi için 500 °C de 3 saat süreyle Elite marka fırında tutulmuştur. Kullanılan fırın şekil 4.4’ de verilmiştir.



Şekil 4.4. Karbonizasyon işleminde kullanılan elite marka fırın

Karbonizasyon işlemi sonucunda elde edilen yumurta kabuğu tozu şekil 4.5’ de verilmiştir.



Şekil 4.5.Karbonize edilmiş yumurta kabuğu tozu

Deneyisel çalışmada % 0, % 2, % 4, % 6 takviye oranına göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamaların ardından yumurta kabuğu ve alüminyum tozlarının ağırlıkları Malezya Putra Üniversitesi laboratuvarında bulunan AND marka HR-250AZ model analitik laboratuvar terazisi kullanılarak tartılmıştır. Şekil 4.6’ da toz karışımının hazırlanmasında kullanılan terazi görülmektedir.



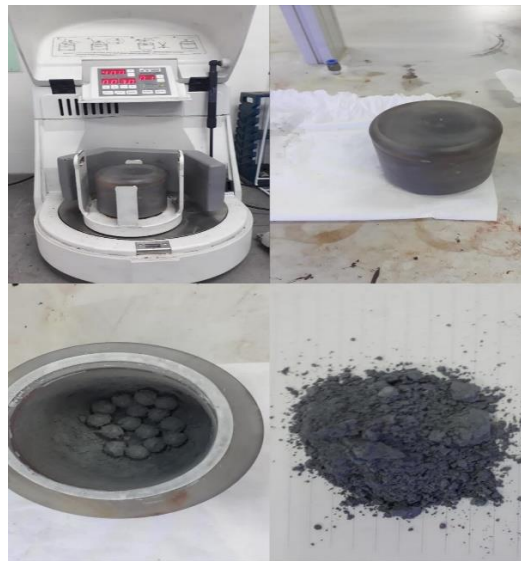
Şekil 4.6.AND marka HR-250AZ model terazi

Tozların karıştırma işleminde Malezya Putra Üniversitesi laboratuvarında bulunan FRITSCH marka pulverizet 6 model bilyalı değirmen kullanılmıştır. Tartılan tozların karıştırılma işlemi, 400 rpm dönme hızında 1 saat sürede çelik bilyalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7’ de tozların karıştırılmasında kullanılan bilyalı değirmen görülmektedir.



Şekil 4.7.FRITSCH marka pulverizet 6 model bilyalı değirmen

Karıştırma işleminin tamamlanmasının ardından öğütme haznesi çıkarılarak hazne içinde hazırlanmış toz karışımı öğütme bilyalarından ayrılarak, alüminyum + karbonize yumurta kabuğu tozu karışımı elde edildi. Şekil 4.8’de işlem aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.8.Toz karıştırmada işlem aşamaları

Presleme(sıkıştırma) işlemi Malezya Putra Üniversitesi laboratuvarında bulunan INSTRON marka 3382 model presle yapılmıştır.Şekil 4.9’ da tozların sıkıştırılmasında kullanılan presleme tezgahı görülmektedir.



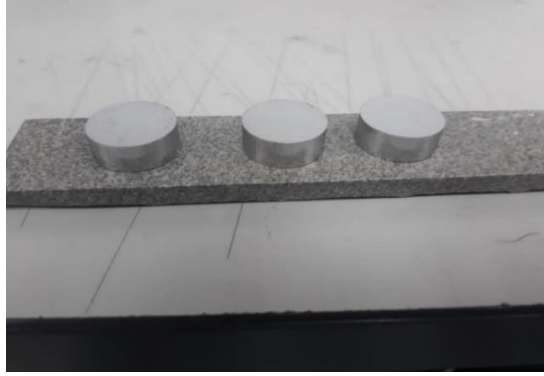
Şekil 4.9.INSTRON marka 3382 model pres

Ön hazırlık olarak toz karışımı kalıba konulmadan önce magnezyum tozu sürülmüştür.Hazırlanan toz karışımı 5 gr olacak şekilde terazide tartıldı. Toz karışımı kalıba konularak 30 kN basınçla preslendimiştir.İşlem aşamaları şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Presleme işlem aşamaları

Presleme işlemi sonunda elde edilen test numuneleri şekil 4.11’ de görülmektedir.



Şekil 4.11. Test numuneleri

Al matrisli karbonize yumurta kabuğu tozu takviyeli numuneler 610 °C sıcaklığında 2 saat süreyle Ar gazı atmosferi altında sinterlenmiştir.

Preslenen numunelerin sinterleme işlemi Malezya Putra Üniversitesi fizik laboratuvarında bulunan şekil 4.12’de gösterilen fırın kullanılarak yapılmıştır. Sinterleme sırasında oksitlemeyi önlemek için işlem sürecinde fırın içerisinde Ar gazı kullanılmıştır. Fırın ısıtma hızı 5 °C/dak’ dır.



Şekil 4.12. Sinter fırını

4.3. İnfiltrasyon Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneyisel çalışmada 9 mm iç çapında, et kalınlığı 1 mm olan 300 mm boyutunda çelik borular kullanılmıştır. Çelik boruların alt kısımlarına bir filtre ve tozların dökülmeden tüp içerisinde kalmalarını sağlamak için de filtre üzerine folyo yerleştirilmiştir.

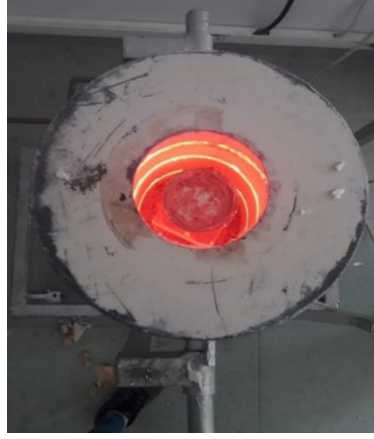
Karbonize yumurta kabuğu tozları içerisine Al tozları ilave edilip belirlenen %0, 2, 4 ve 6 T-H oranlarında toz karışımları elde edilmiştir. Çelik boru içerisinde 70 mm yükseklik olacak şekilde hassas terazi ile tartılan tozlar çelik boru içerisine konulmuştur.

Çelik boruda bulunan toz karışımının üst kısmına filtre yerleştirildi. Bu filtre kâğıdının üzerine ağırlık oluşturması için silika kumu ilave edilmiştir. Böylece tozların vakum işlemi sırasında yukarıya doğru hareketleri engellenmiştir. Silika kumunun vakum işlemi sırasında vakum ünitesine zarar vermesini engellemek amacıyla filtre kullanıldı. İnfiltrasyon işlemindeki çelik borular şekil 4.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. İnfiltrasyonda kullanılan çelik borular

Çalışmada kullanılan alüminyum grafit pota içerisinde ergitme ocağına yerleştirildi. Ergitmenin yapılacağı ocağın sıcaklığı 750 °C olarak ayarlanarak bu sıcaklıkta ocak sıcaklığı ± 5 °C’de sabit tutularak matris malzemesi ergitilmiş ve sıcaklık korunmuştur. Alüminyumun ergitilmesi şekil 4.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Alüminyumun ergitilmesi

Vakum değeri sistem üzerinde bulunan manometre yardımı ile ölçülmüştür. Çelik borular istenilen vakum değerinin sağlanmasının ardından potada bulunan sıvı metal içerine daldırılmıştır. Çelik borulara 3 dakika süreyle 580 mmHg’ de vakumlama işlemi yapılmıştır. Yapılan işlem şekil 4.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. İnfiltrasyon işlemi

Potadan çıkartılan çelik borular vakum bağlantısının kesilmesinin ardından kum içerisine batırılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan çelik borular tornalanarak numuneler hazır hale getirilmiştir.

4.4. SEM ve EDS Analizi

SEM analizleri Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan JOELJSM-6060LV marka Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM cihazına bağlı olan EDS cihazında numuneler morfolojik ve elementel olarak incelenmiştir. Çalışma da kullanılan cihaz 4.16' da verilmiştir.



Şekil 4.16. SEM ve EDS analiz cihazı

4.5. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlik ölçümleri Gazi Üniversitesinde bulunan Emcotest sertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihaz şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17. Sertlik cihazı

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalarda toz metalurjisi (TM) ve vakum infiltrasyon yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak metal matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretilen alüminyum matrisli %0, %2, %4 ve %6 oranlarında yumurta kabuğu takviyesinin malzeme özellikleri ve mikro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri, karakterizasyon işlemleri sonucu elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

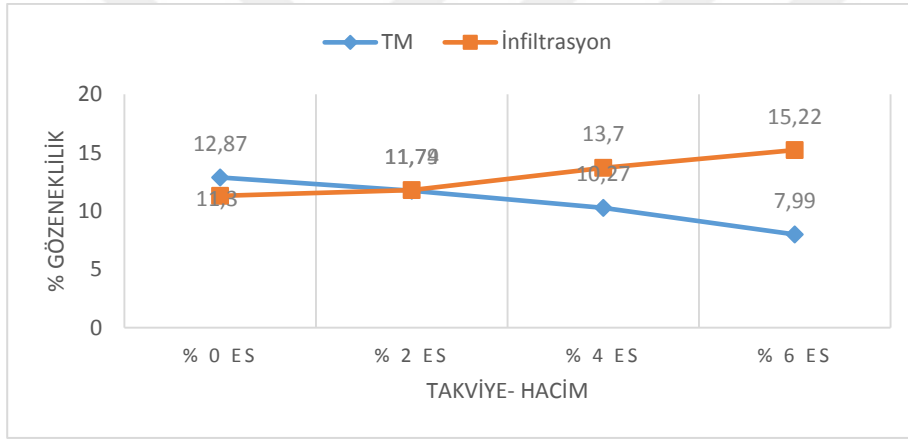
5.1 Yoğunluk ve Gözeneklilik Ölçümleri

Çizelge 5.1 de toz metalurjisi ve infiltrasyon yöntemleri ile üretilen sırasıyla %2, 4 ve 6 ağırlıkça yumurta kabuğu (ES) takviyeli numunelerin gerçek yoğunluk ve gözeneklilik oranları verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında TM yöntemi ile üretilen numunelerde takviye oranı arttıkça gözeneklilik oranının azaldığı, infiltrasyon yönteminde ise arttığı saptanmıştır.

TM yöntemi ile üretilen numunelerdeki bu artışın sebebinin kullanılan takviye ve matris tozlarının boyutlarının 1-3 mikron arasında değişmesi ve toz temas yüzeylerinin artmasının gözenekliliği azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca tozların infiltrasyon numunelerine göre daha homojen dağılmasında gözenekliliğin daha az olmasının nedenlerinden biri olarak görülmektedir.

Çizelge 5.1 TM ve infiltrasyon yöntemleri ile üretilen numunelerin yoğunlukları ve gözenekliliği

	Teorik Yoğ. (g/cm ³)	Gerçek Yoğ. (g/cm ³)	Gözeneklilik (%)
Al TM	2,7000	2,3524	12,87
%2 ES – TM	2,6890	2,3733	11,74
%4 ES – TM	2,6680	2,3939	10,27
%6 ES – TM	2,657	2,4447	7,99
Al İnf.	2,81	2,4924	11,3
%2 ES – İnf.	2,7972	2,4634	11,79
%4 ES – İnf.	2,7844	2,4028	13,7
%6 ES – İnf.	2,7716	2,3495	15,22



Şekil 5.1. TM ve infiltrasyon yöntemleri ile üretilen numunelerin gözenekliliği

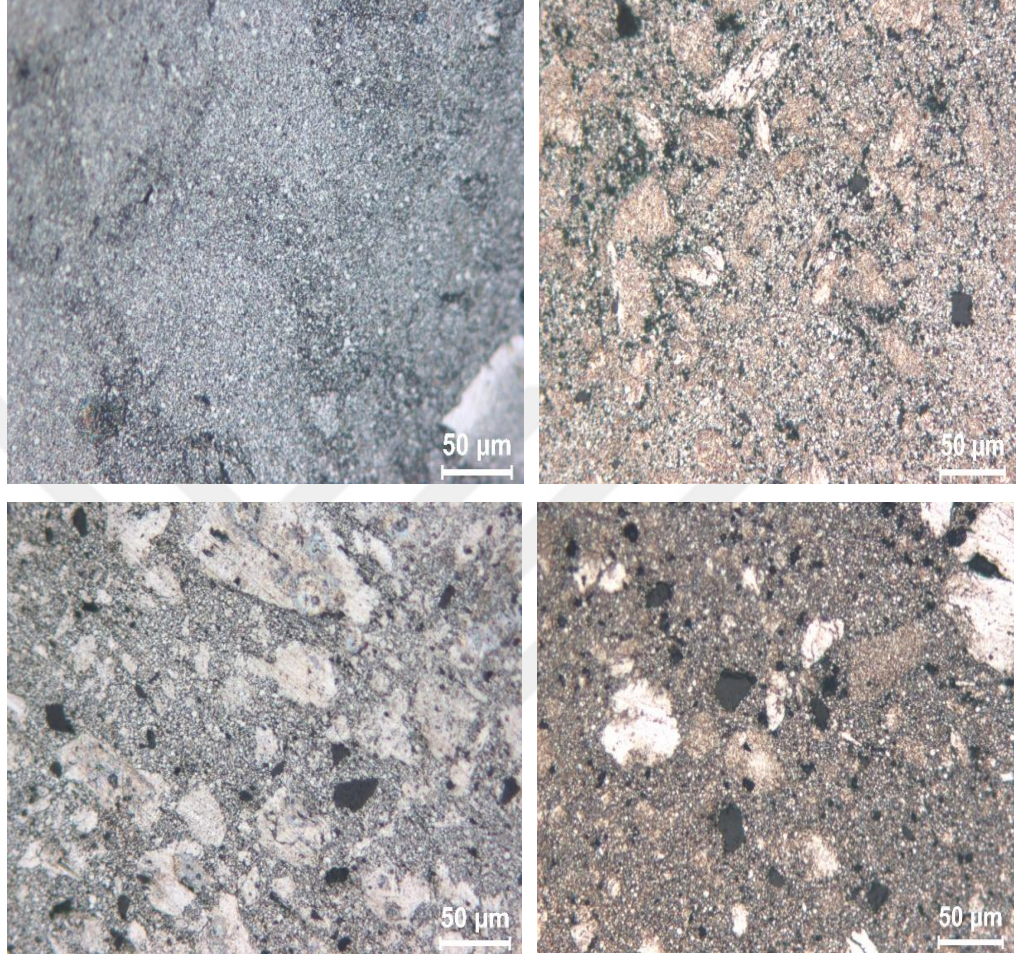
Çalın ve Çıtak (2009) Al matrisli MgO parçacık takviyeli kompozit malzemenin vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde, takviye-hacim oranının etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda artan takviye-hacim oranı ile gözenek miktarının arttığı belirlenmiştir[6].

Baydemir (2018) Al₂O₃ (ağırlıkça %0, 5, 10, 15, 20) parçacık içeren AA6061 matrisli kompozit malzemeler üzerine yaptığı çalışmada ağırlıkça % takviye elemanının artması ile beraber gözenek oranında da artış yaşandığı gözlenmiştir[52].

Afolabi ve diğ. (2021) Farklı oranlarda (ağırlıkça %0,5,10,15 ve 20) mısır koçanı kullanarak gözenekli alümina seramikler geliştirmiştir. Deney sonucunda mısır koçanı ilavesinin artması ile gözenekliliğinde arttığı tespit edilmiştir [53].

5.2. Mikro yapısal Karakterizasyon

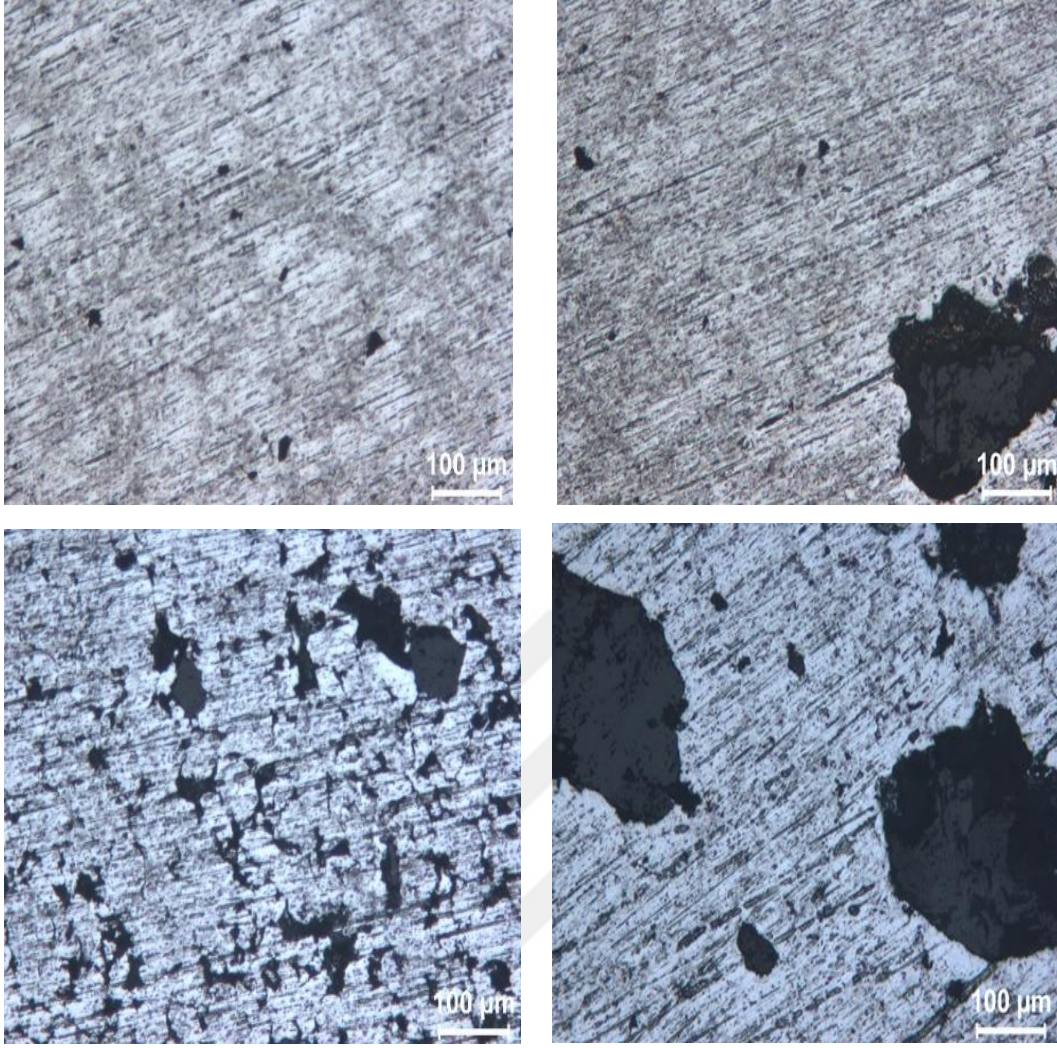
5.2.1. Optik Mikroskop Analizi



Şekil 5.2 TM yöntemiyle üretilen ES takviyeli Al matrisli numunelerin optik mikroskop görüntüsü

a) %0, b) %2, c) %4, d) %6

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.2.'de verilmiştir. Bu görüntülerde koyu gri renkte olan parçacıkların ES olduğu tespit edilirken Şekil 5.2. a da bulunan takviyesiz numunede bu koyu gri partiküllere rastlanmamaktadır. Daha sonra matristeki takviye oranı arttıkça, bu koyu gri ES partiküllerinin mikroyapıdaki sayısının arttığı da saptanmıştır. Mikro yapı mikron altı ve 1 mikrona yakın taneler göze çarpmaktadır. Bu taneler başlangıç tozlarının boyutları olduğundan tane boyutu oldukça düşüktür.

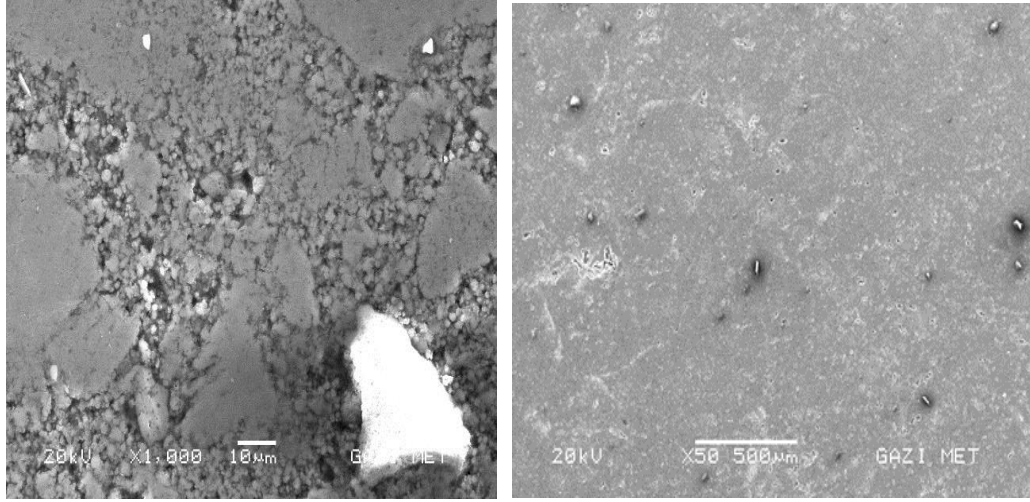


Şekil 5.3 İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ES takviyeli numunelerin optik mikroskop görüntüsü

a) %0, b) %2, c) %4, d) %6

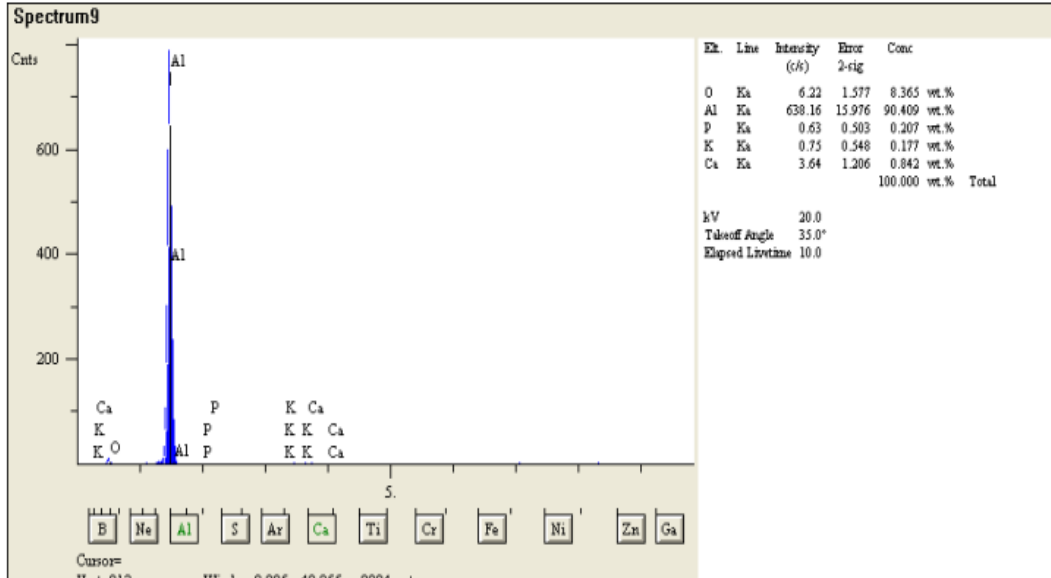
İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş numunelerin optik mikros görüntüleri Şekil 5.3’de verilmiştir. TM yönteminde üretilen numunelerin optik mikroskop görüntülerinde (Şekil 5.2.) olduğu gibi bu mikroyapı görüntülerinde de koyu gri renkte olan ES partiküllerinin sayısı artmıştır. Fakat %2 ve %6 ES içeren numunelerde topaklanmanın meydana geldiği ve tanelerin büyüdüğü göze çarpmıştır. Aynı zaman Şekil 5.3.c de görüldüğü gibi matris tane boyutları TM ile üretilen numunelere çok daha büyüktür ve bu durum sertlik değerlerinin daha düşük olmasına yol açması beklenmektedir.

5.2.2. %2 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi

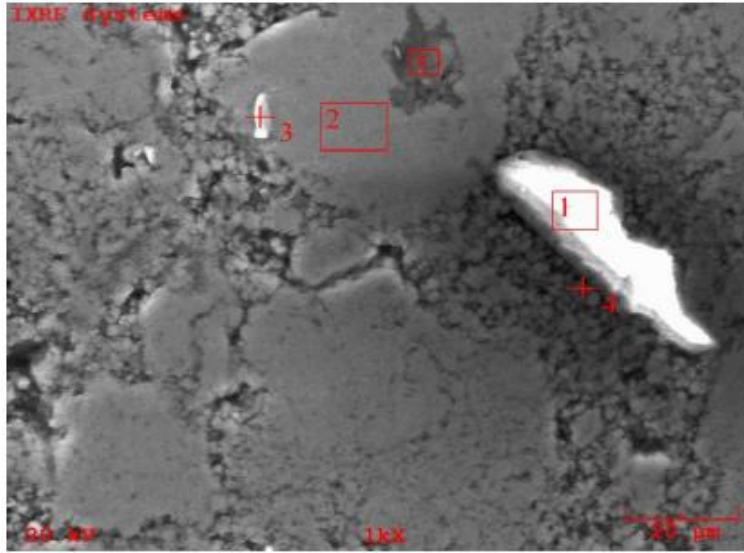


Şekil 5.4. Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografileri

Şekil 5.4 de verilen %2 ağ. ES takviye edilmiş ve toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş numunenin SEM görüntüleri incelendiğinde x50 büyütmede genel görünümde alüminyum matrise homojen dağılmış yaklaşık 30-40 µm boyutunda tanelerin ES parçacıkları oldukları görülmektedir. X1000 büyütme de ise matriste sinterlemenin gerçekleştiği ve ES tanesinin matristeki alüminyum toz taneleri ile iyi bir ara yüzey oluşturduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.5’de ağ. %2 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi verilmiştir.



Şekil 5.5 TM yöntemi ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi



Şekil 5.6. Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrofasi üzerinden alınan EDS analiz bölgeleri (x1000)

Çizelge .5.2 Toz metalurjisi ile üretilmiş %2 ağ. ES takviyeli numunenin EDS analizi

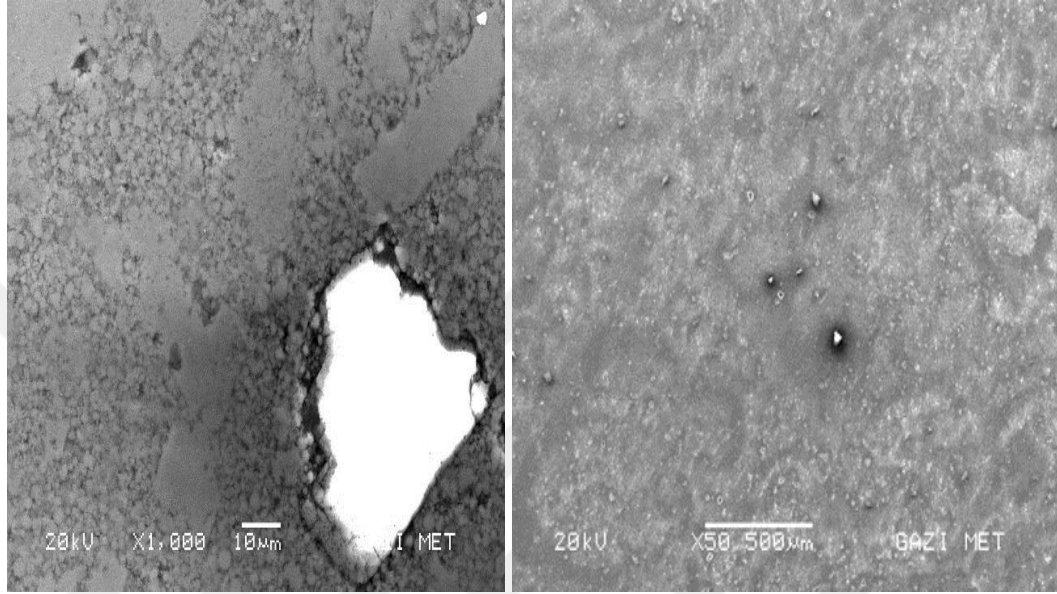
	Al (ağ. %)	O (ağ. %)	Ca (ağ. %)	C (ağ. %)
1	0,686	28,177	63,119	7,483
2	100	0	0	0
3	9,978	1,970	0	0
4	69,040	12,413	18,547	0
5	54,291	15,118	30,591	0

%2 ES takviyeli numunenin Şekil 5.6 da görülen matris üzerindeki EDS analiz bölgeleri görülmektedir. Çizelge 5.2 de bu bölgelerden alınan element analizleri gösterilmektedir. Matriste sinterlenen toz taneleri arasında bulunan beyaz partikülden alınan 1 no'lu bölge analizi içerdiği Ca oranı ile ES tanesi olduğu saptanmıştır. Matris toz tanesi üzerinden alınan bölge analizinde ise tamamen Al elementine rastlanmıştır.

Tane üzerinde bulunan küçük beyaz 3 nolu EDS analizinde bunun zımparadan gelen bir partikül olduğu görülmüş. ES tanesi ve matris arasındaki bölgeden alınan 4 no'lu nokta analizinde ise hem Al hem de Ca elementlerine rastlanmış burada Ca'nın matris içine difüze olarak bir arayüzey oluşturduğu görülmüştür.

Sinterlenmiş matris üzerinde bulunan ve çukur görüntüsü bulunan bölgeden alınan 5 no'lu analizde %30 ağırlık kadar Ca elementine rastlanmıştır ve buradan ES tanesinin köptüğü belirlenmiştir bu noktada Ca atomlarının matrise difüze olduğu görülmektedir.

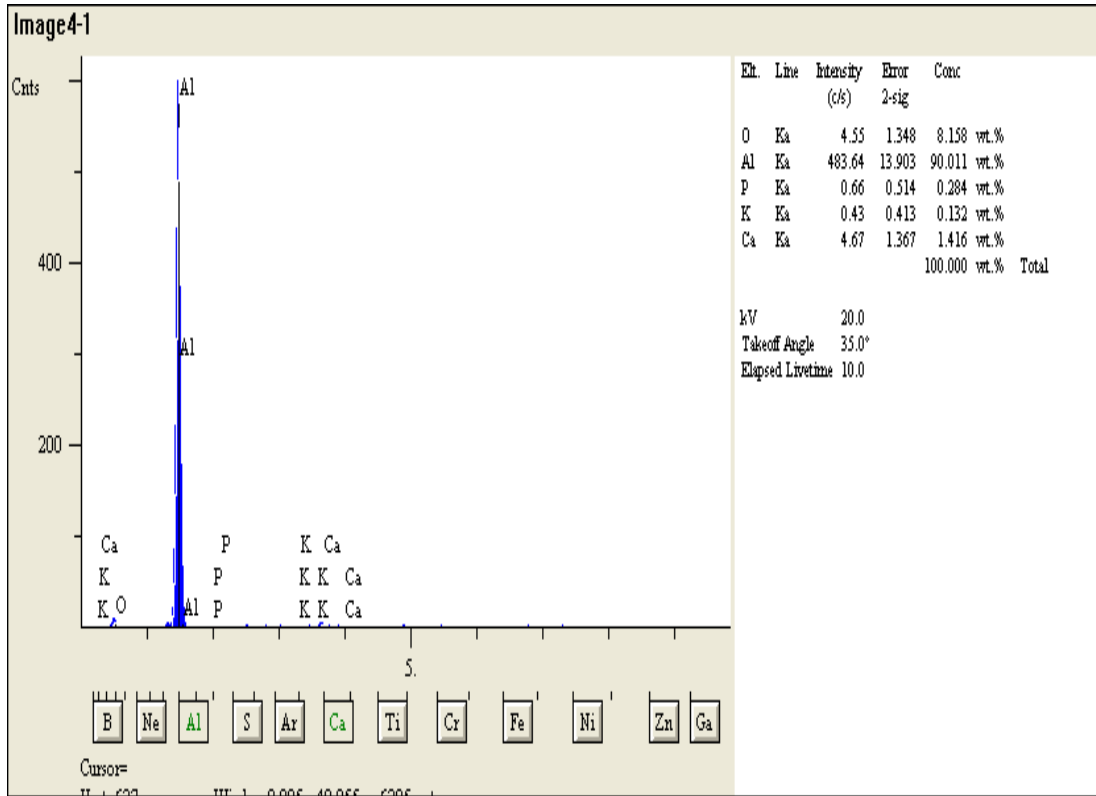
5.2.3. %4 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi



Şekil 5.7. Toz metalurjisi ile üretilmiş %4 ağırlık ES takviyeli numunenin SEM mikrografileri

Ağırlıkça %4 ES takviyeli Al matrisli ve TM yöntemi ile üretilmiş numunenin SEM mikrografisi incelendiğinde x50 büyütme de ES tanelerinin sayısının homojen dağılım çok iyi olmadığından matris üzerinde birbirlerine daha yakın ve sayı olarak Şekil 5.2 de verilen %2 ES içeren numuneden azda olsa fazla olduğu belirlenmiştir. X1000 büyütmede alınan görüntü de ise ES tanesinin matris ile tam birleşmediği bazı ara yüzeyde boşlukların olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 5.8.'de ağırlıkça %4 ES takviyesi içeren Al matrisli numunenin x50 büyütmede alınan genel EDS analizi verilmiştir.

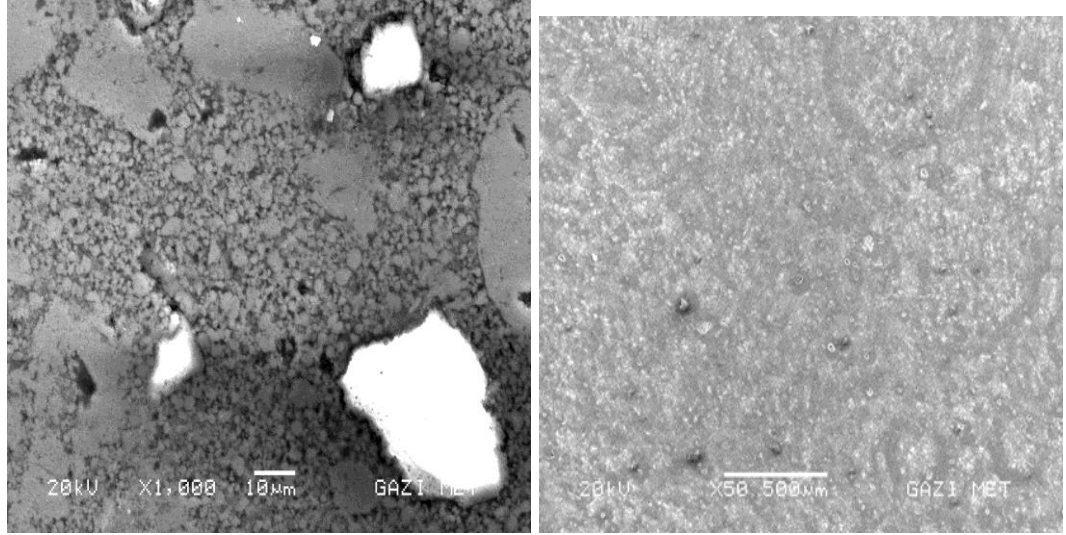


Şekil 5.8. TM yöntemi ile üretilmiş %4 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi

5.2.4. %6 ES Takviye Edilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi

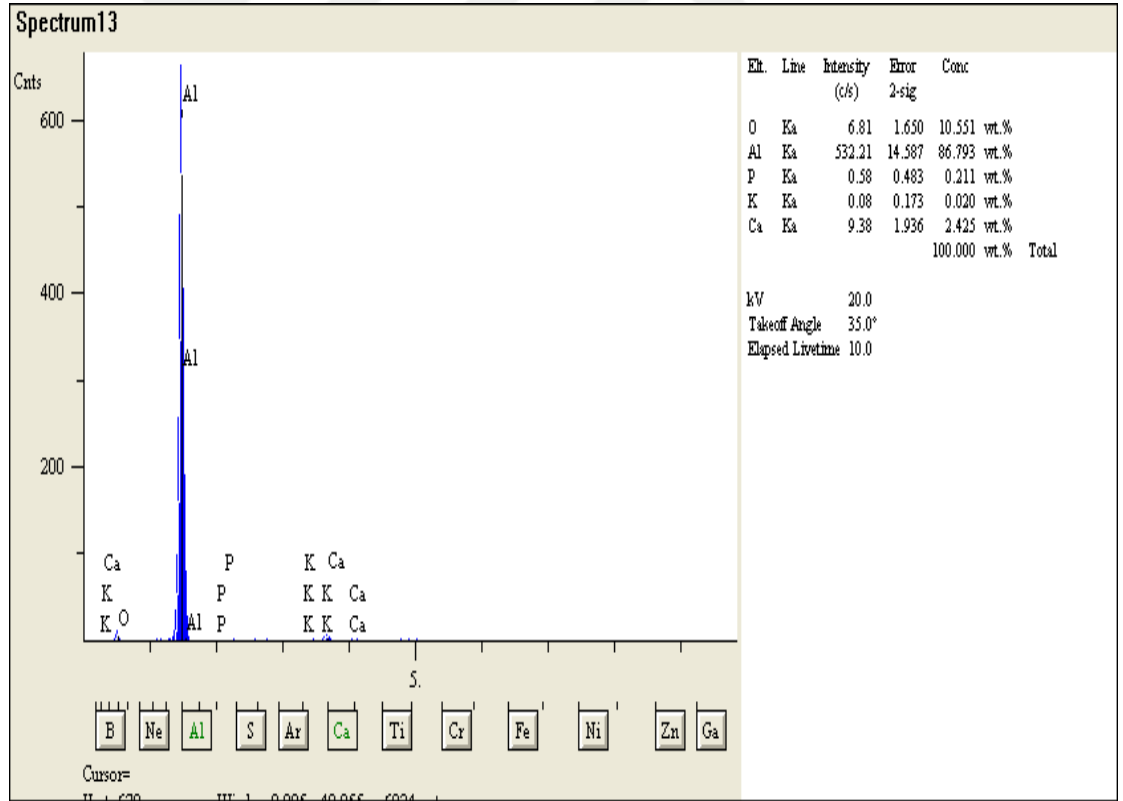
Ağırlıkça %6 ES içeren Al matrisli numunenin x50 ve x1000 SEM mikrografileri Şekil 5.9 da verilmiştir. X50 büyütmede ES partiküllerinin matriste homojen dağıldığı ve sayı olarak önceki iki numuneden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sinterleme sırasında tanelerin arasında küçük çapta boşluklarda göze çarpmaktadır.

X1000 büyütme de ise matris toz tanelerinin boyun verme işlemini tamamladığı ve bazı bölgelerde tam birleşmeyi gerçekleştirerek büyük matris fazları ortaya çıkardığı görülmüştür. Bu mikrografide tanelerin ara yüzey bağlantısı % 4 takviye içeren numuneye göre daha iyi görülmüş ve ES partikülü ile matris arasında daha az gözenek saptanmıştır.



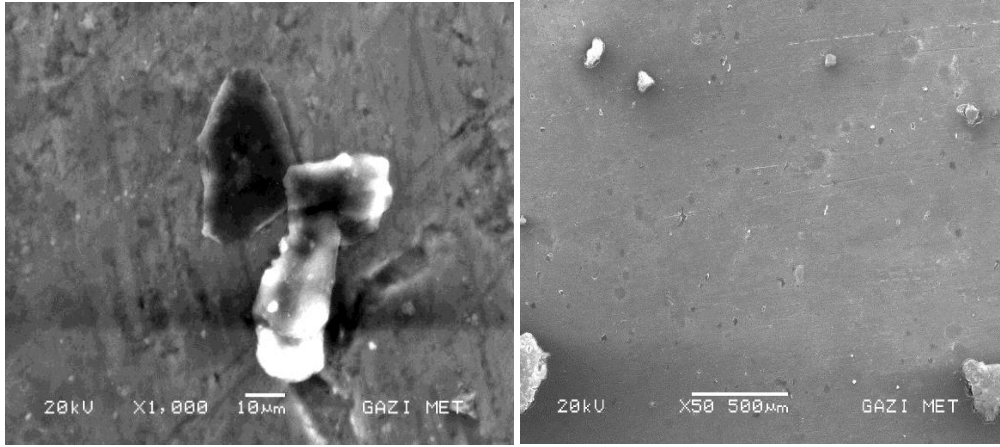
Şekil 5.9. Toz metalurjisi ile üretilmiş %6 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi

Şekil 5.10 da %6 ES içeren Al matrisli numunenin X50 büyütme de genel analizi verilmiştir.



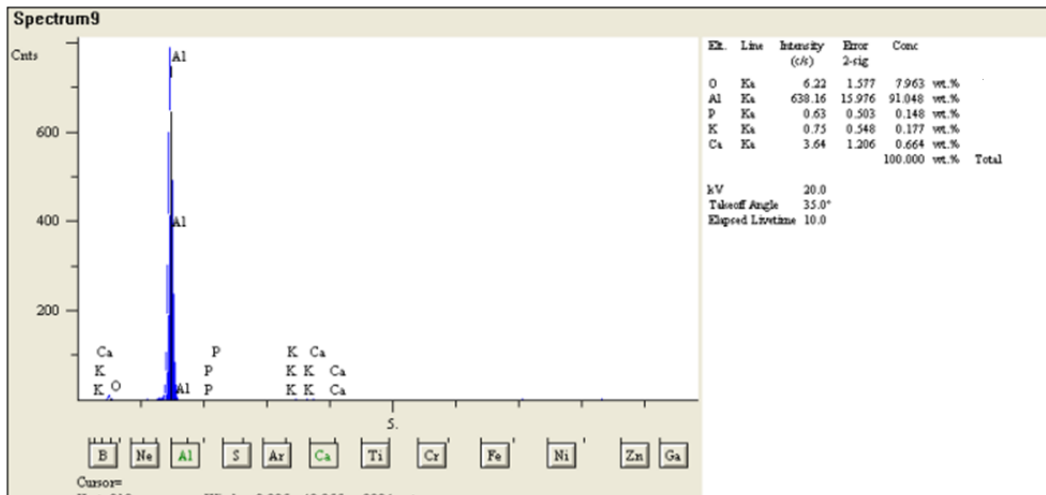
Şekil 5.10. TM yöntemi ile üretilmiş % 6 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi

5.2.5. %2 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi



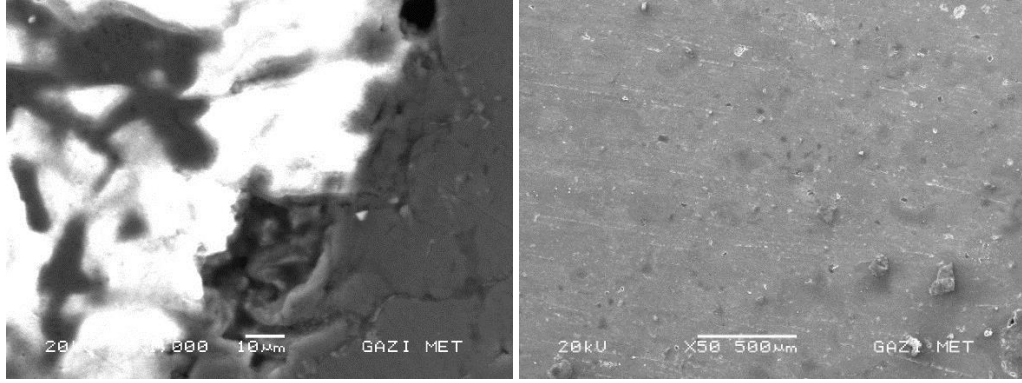
Şekil 5.11. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin SEM mikrofrafisi

Şekil 5.11 de verilen infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ağ. %2 ES içeren numunenin SEM mikrofrafisi incelendiğinde Şekil 5.2. de TM ile üretilen aynı parametrelerdeki numuneye göre matrisin daha büyük taneli olduğu görülmektedir, ES partikülü ve matris ara yüzeyinin daha gözeneksiz olduğu saptanmıştır. Bunun sebebinin eriyen Al matrisin partikülü daha iyi ıslattığı ve tam bir birleşme gerçekleştirdiği söylenebilir. X50 büyütmede alınan mikrofrafide ise ES'lerin net olarak homojen dağılmadığı bazı bölgelerde topaklanmanın meydana geldiği görülmektedir. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen ağ. %2 ES içeren numunenin genel EDS analizi şekil 5.12 'de verilmiştir.



Şekil 5.12. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %2ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi

5.2.6. %4 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi

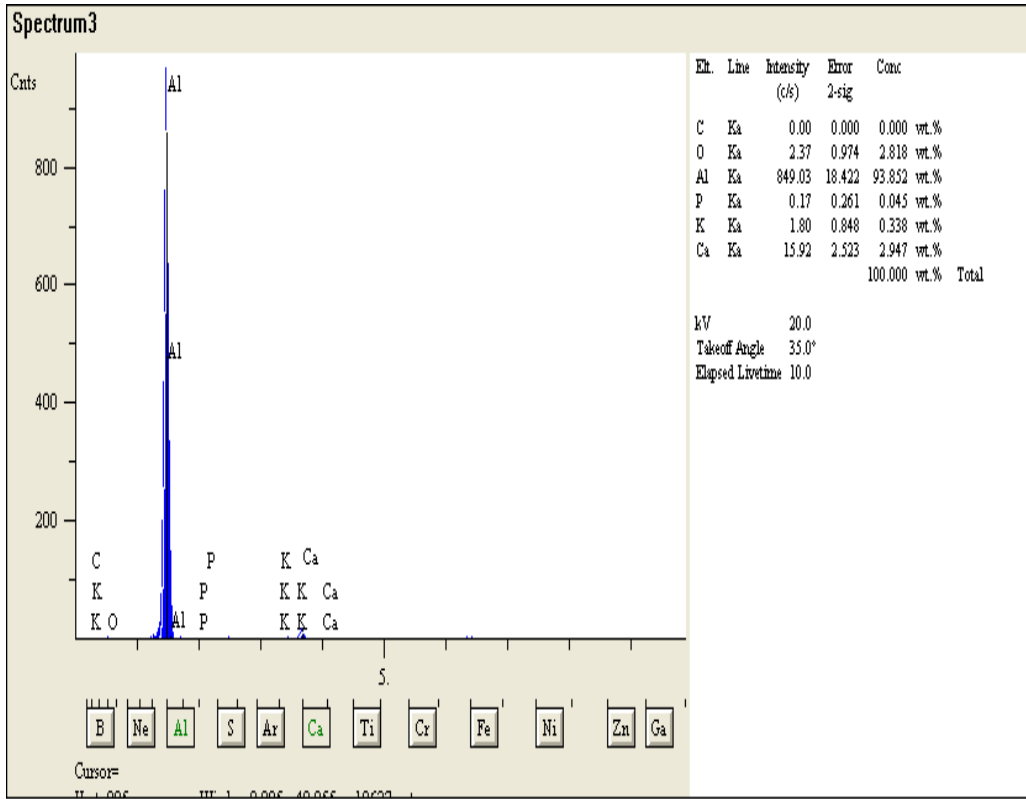


Şekil 5.13. İnfiltrasyon ile üretilmiş % 4 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi

Şekil 5.13 de infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ağ. %4 ES içeren numunenin SEM mikrografisi verilmiştir. Verilen SEM mikrografisinde ES partikülü ile matris arasındaki arayüzey incelenmiştir. İncelenen bu arayüzeyde tam ıslatmanın gerçekleştiği ve gözeneklerin olduğu kısımlar göze çarpmıştır. Ayrıca infiltrasyon işlemi sırasında ES ve Al tozlarının karışımının zayıf olması sebebi ile ES partikülleri bir araya gelerek topaklanmıştır ve arasında gözenek bulunan büyük takviyeler oluşmuştur.

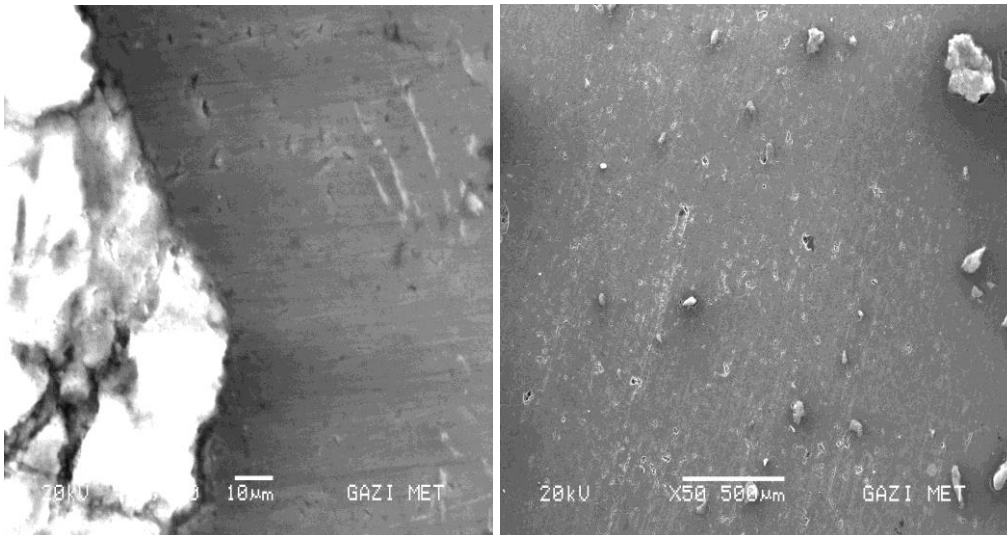
Bu mikrografide de topaklanmanın ve bir kısımda ES partiküllerinin bir araya geldiği görülmektedir bu durum matriste gözenekliliği de arttırmaktadır. Çizelge 5.1 de verilen infiltrasyon yöntemindeki gözeneklilik artışı bu duruma bağlanmaktadır.

Şekil 5.14 de ağ. %4 ES ilave edilmiş numunenin genel EDS analizi verilmiştir.



Şekil 5.14. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %4 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi

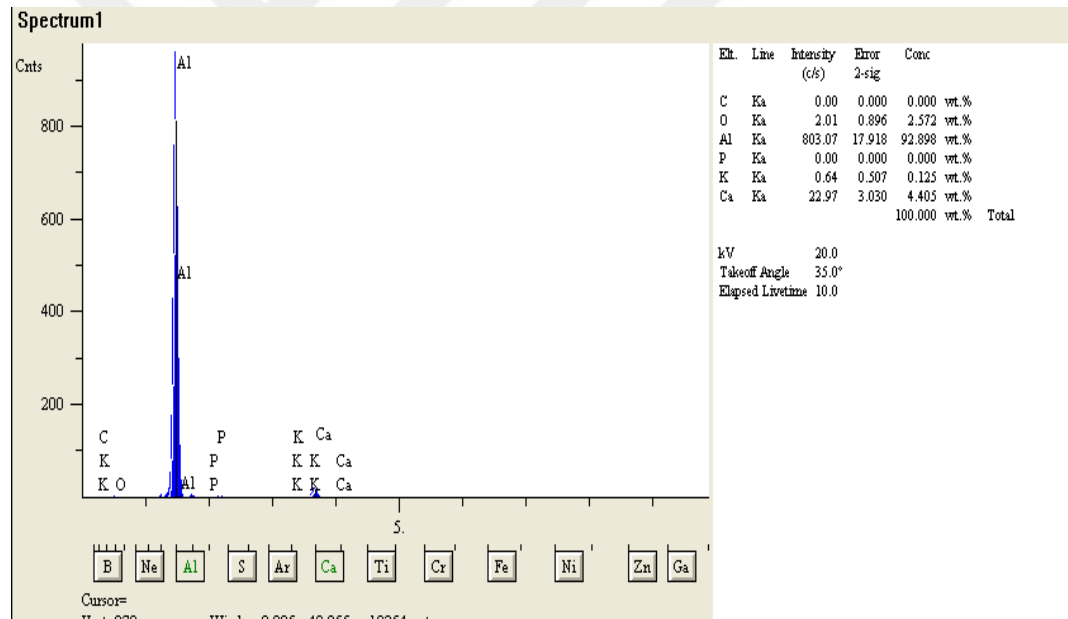
5.2.7. %6 ES Takviye Edilmiş İnfiltrasyon ile Üretilmiş Numunenin SEM ve EDS Analizi



Şekil 5.15. İnfiltrasyon ile üretilmiş % 6 ağ. ES takviyeli numunenin SEM mikrografisi

Şekil 5.15 de verilen ağırlıkça %6 ES içeren infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş numunenin SEM mikrografisi bakıldığında dağılımın neredeyse homojen olduğu fakat bazı bölgelerde diğer infiltrasyon numunelerinde olduğu gibi topaklanarak birçok ES partikülünün bir araya gelerek büyük bir takviye partikülü gibi davrandığı görülmüştür. Ayrıca matris üzerinde gölge boşlukları denen zımparalama işlemesi sırasında kopan ES partiküllerinden kalan boşluklara da rastlanmıştır.

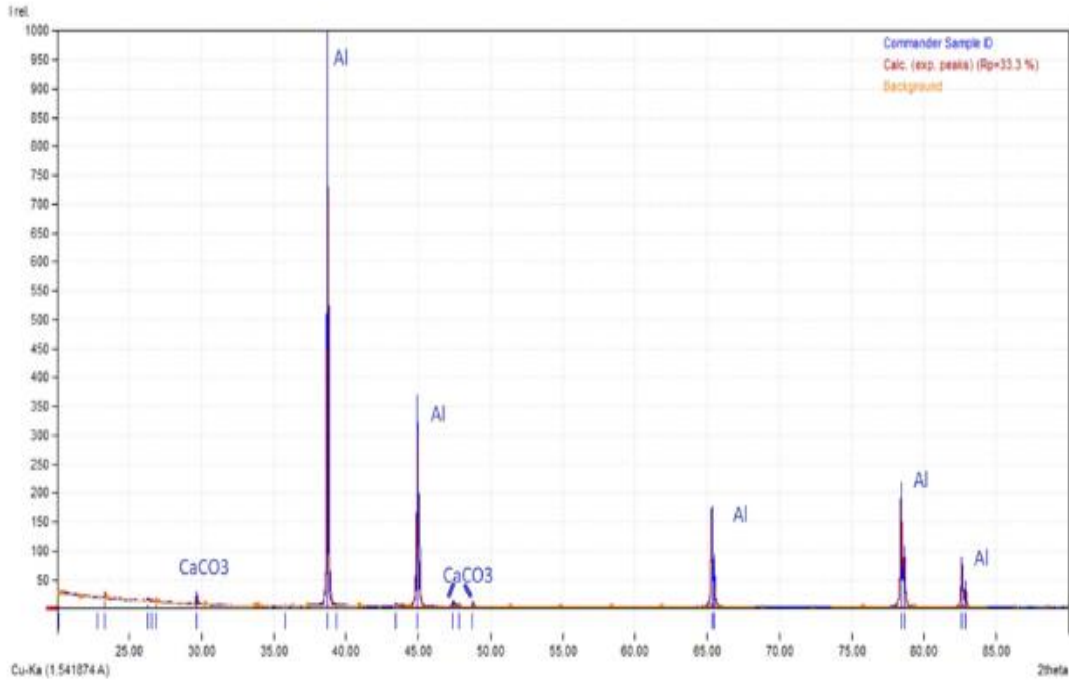
X1000 büyütmede verilen mikrografiye bakıldığında ES partiküllerin topaklanması ve bu partiküllerin arasında ergiyik metalin akamadığı boşluklarda belirlenmiştir. Bu durumda İnfiltrasyon sırasında takviye oranı arttıkça gözenekliliğin arttığını desteklemiştir. Şekil 5.16' da %6 ES içeren numunelerin x50 büyütmedeki genel EDS analizi verilmiştir.



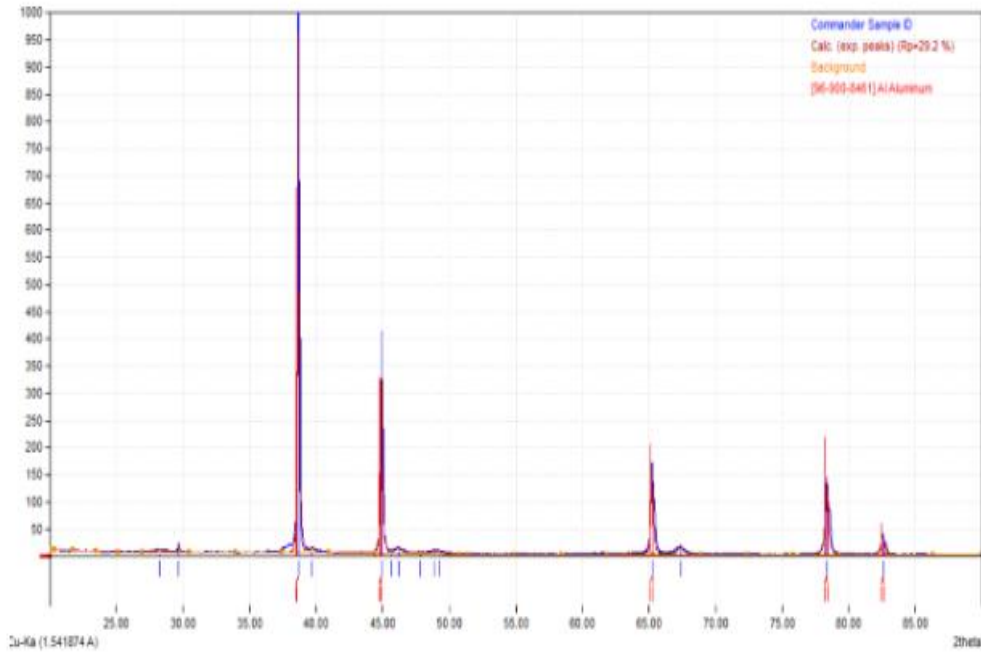
Şekil 5.16. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş %6 ES içeren numunenin x50 büyütmede genel EDS analizi

Ağırlıkça %6 ES içeren numunenin genel EDS analizine bakıldığında C oranının yaklaşık %4,4 olduğu görülmüştür. Oranın bu kadar yüksek çıkmasının sebebinin genel EDS analizinin yapıldığı mikro yapı bölgesinde topaklanmadan dolayı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca infiltrasyon numunelerinin genel EDS analizlerinde O oranı TM yöntemi ile üretilen numunelere göre oldukça düşük çıkmıştır.

5.3. XRD Analizi Sonuçları



Şekil 5.17. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilmiş % 2 ES içeren numunenin XRD analizi



Şekil 5.18. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş %2 ES içeren numunenin XRD analizi

Şekil 5.17 ve şekil 5.18 ‘ de %2 ES ilaveli infiltrasyon ve toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen numunelerin XRD analizleri verilmiştir. Verilen XRD analizlerinde her iki numunede de Al pikleri aynı 2teta açılarda ve aynı şiddette pik vermiştir. Piklerin darlığı Al matrisin kristal yapıda olduklarını göstermektedir.

CaCO₃ piklerinin aynı açılarda ve aynı şiddette pik verdikleri görülmüş olup iki yöntem arasında oluşan faz ve bileşiklerde farklılık olmadığı görülmüştür. CaCO₃ takviyeleri Al piklerine göre daha geniş pikler vermiş piklerin genişlemesinin sebebinin amorf yapıda bulunmaları olarak düşünülmüştür.

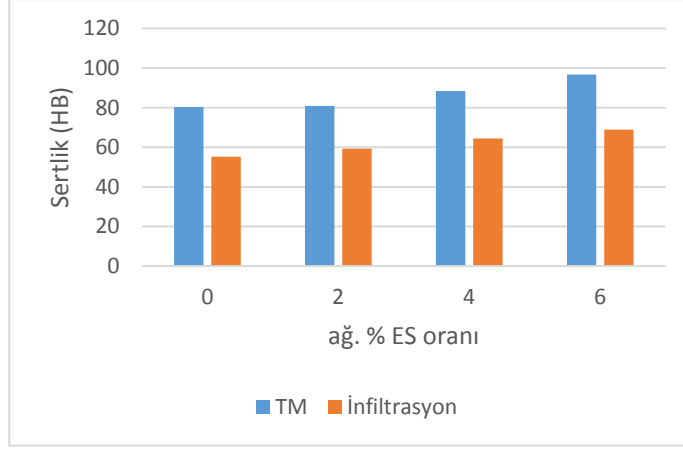
5.4. Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmada ASTM E-10 standardında Brinell cinsinden ölçümler yapılmıştır. (bilye çapı 2,5 mm, 15,625 kgf yük).Beş ayrı bölgeden sertlik değerleri alınmış ve bu değerlerin ortalaması hesaplanarak numunelerin sertlikleri belirlenmiş test sonucunda elde edilen sertlik değerleri çizelge 5,3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin sertlik değişimleri

Kompozitlerin Bileşimi	Sertlik Değeri(HB) Toz Metalurjisi	Sertlik Değeri (HB) İnfiltrasyon
Al	80,28	55,24
Al-%2ES	80,86	59,26
Al-%4ES	88,42	64,45
Al-%6ES	96,74	68,95

Şekil 5.19’da farklı takviye-hacim oranlarında üretilen kompozitlerin sertlik değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5.19. Sertliğin takviye oranları ile değişimi

Şekil 5.19’ da yer alan grafikten de görülebileceği gibi sertlik değeri takviye oranının artması hem TM yöntemi ile üretilen hem de infiltrasyon yöntemi ile üretilen kompozit numunelerde ağırlıkça ES oranı arttıkça sertlik değerleri artmıştır.

Dwiwedi ve ark. Yumurta kabuğu takviyeli Al6061 matris kompozitlerin mekanik ve mikro yapısal özellikleri üzerine bir inceleme yapmışlardır. Çalışmada, kompozitlerin sertliğinin ES partiküllerinin eklenmesine bağlı olarak artış gösterdiği ve maksimum değerlerin ağırlıkça % 4’te sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır [36].

Borozan ve ark. (2019) atık yumurta kabuğu katkısının polyester kompozit malzeme üretimine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada yumurta kabuğu takviyeli kompozitte T-H oranlarına bağlı artan takviye ile sertlik değerlerinde artış yaşandığını gözlemlenmişlerdir.

Hassan ve ark. (2012) polyester/yumurta kabuğu takviyeli kompozit malzeme üretmiştir. Yapılan çalışmada yumurta kabuğu takviye oranının artmasıyla sertliğin arttığını tespit etmişlerdir [54].

Çaligülü ve ark.(2021) yaptıkları çalışmada toz metalurjisi yöntemi kullanarak nikel matrisli bor karbür(B₄C) takviyeli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda artan B₄C içeriğine bağlı olarak sertliğin arttığını gözlemlenmişlerdir[55].

Okay ve Islak (2021) yaptıkları çalışmada toz metalurjisi ile üretilen alüminyum matrisli Ti₃AlC₂ takviyeli kompozitler üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda Ti₃AlC₂ miktarının artmasıyla sertlik değerlerinde de artış yaşandığını tespit etmişlerdir[56].

6.SONUÇLAR

Deneysel çalışmalarda takviye olarak karbonize yumurta kabuğu matris olarak ticari saflıkta alüminyum kullanılarak, TM ve infiltrasyon olmak üzere iki farklı üretim yöntemi ile metal matrisli kompozitler üretilmiştir.

Çalışma sonucunda numunelerin sertlik değerleri, yoğunluk ve gözeneklilikleri, mikroyapı özellikleri, artan takviye oranının kompozitler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar;

Yoğunluk ve gözeneklilik ölçümlerine göre TM yönteminde ağırlıkça %2 ES takviyesinden sonra artan takviye ile gözeneklilik azalmış, Vakum İnfiltrasyonda ise ağırlıkça %2 ES takviyesinden sonra artan takviye ile gözeneklilik de artış yaşanmıştır. Buna göre toz metalurjisi numunelerinde gözenekliliğin azaldığı, infiltrasyon yönteminde ise gözenekliliğin arttığı tespit edilmiştir.

Brinell sertlik ölçümüne göre; TM yöntemi ile üretilen numunelerde ES takviye oranı arttıkça sertlik oranında da artış yaşanmış en yüksek sertlik değeri %6 ES takviyeli kompozitte gözlenmiş, Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerde de artan takviye oranı ile sertlikte artış yaşanmış en yüksek sertlik değeri %6 ES takviyeli kompozitte gözlenmiştir. Ancak TM yöntemi ile üretilen numunelerin sertlik değerlerinin İnfiltrasyon numunelerine göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bunun başlıca sebebinin TM üretiminde kullanılan tozların mikron altı ve yaklaşık 1-3 mikron arasında değişmesi, infiltrasyonda kullanılan tozların ve ergitme işlemi sonrası tanelerin yaklaşık 100 mikron olması düşünülmektedir. En yüksek sertlik değeri %6 ES içeren TM yöntemi ile üretilmiş numunede olduğu görülmekteyken TM yöntemi ile üretilen ağırlıkça %2 takviye içeren numune ile takviyesiz numune arasında çok az sertlik değeri bulunmaktadır.

Al matris, karbonize edilmemiş yumurta kabukları ile takviye edilerek yeni kompozitler üretilebilir, karbonizasyon işleminin gözeneklilik ve sertlik üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Yumurta kabukları gibi farklı atık malzemeler kullanılarak düşük maliyetli yeni kompozitler üretilebilir ve bu kompozitlerin sertlik, gözeneklilik, mikroyapı gibi özellikleri incelenebilir.



KAYNAKLAR

[1] TOPRAK, H.(2017). Geleneksel ve atık takviyeli metal matrisli kompozitlerin yorulma davranışının incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Bartın Üniversitesi, Bartın.

[2]UĞUR, A. (2019). Ergitilmiş metal karıştırma ve geleneksel/sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi, mikroyapı, mekanik özelliklerin Karakterizasyonu ve işlenebilirliği. Doktora tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.

[3] ŞANLI, P. (2019). Farklı oranlardaki takviye elemanlarıyla katkılanırılmış metal matrisli kompozit malzemelerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

[4] SÖNMEZ, M. (2009). Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceğı: Türkiye’den dört örnek firma üzerine bir inceleme. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[5]ÇALIN, R.(2006). Magnezya parçacık takviyeli Al matris kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.

[6]ÇALIN, R.(2010). Effect of reinforcement volüme ratio on thermal conductivity of SiO₂ reinforced Al matrix composite produced by vacuum infiltration method.Asian Journal Chemistry, 22(1), 808-814.

[7] TOK, A.(2017). Geleneksel ve atık takviyeli metal matrisli kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Bartın Üniversitesi, Bartın.

- [8] KILIÇKAP, A.İ.(2018).Farklı oryantasyon açılarına sahip jüt takviyeli kompozitlerin frezelenmesinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Batman Üniversitesi, Batman.
- [9] NAZİK, C. (2013). Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [10] İŞLER, H.(2015). Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin esneklik katsayılarının Ultrasonik ölçümü. Yüksek lisans tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- [11] HAŞİMİ, A.(2018).Cam elyaf takviyeli plastik(CETP) kompozitlerin delinmesinde işleme kalitesi üzerine soğutma şartlarının etkisinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Batman Üniversitesi, Batman.
- [12] KALAYCIOĞLU, A.S.(2010). SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi ile üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [13] KİRAZ, A.T.(2019). Polimer matrisli demir oksit takviyeli kompozit malzemenin kuru kayma aşınma davranışı. Yüksek lisans tezi. Bartın Üniversitesi, Bartın.
- [14] UYGUR, İ.(2004). SARUHAN, H., Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.8(1), 167-174.
- [15] BİLİR, H.(2014). Al/SiC kompozitlerin karıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilme özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

[16] AHLATCI, H.(2003). Aluminyum-Silisyum karbür kompozitlerin mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına takviye boyutunun ve matris bileşiminin etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



- [17] DİLER, E.A.(2012). Toz metalürjisiyle üretilen Al-SiC_p metal matrisli kompozitlerde faktör etkileşimlerinin partikül dağılımı, eğme dayanımı ve aşınma özelliklerine etkileri. Doktora tezi. Ege Üniversitesi, İzmir.
- [18] EROĞLU, G., ŞAHİNER, M. (2018). Dünyada ve Türkiye’ de alüminyum. Maden Tetkik ve arama genel müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- [19] Yedinci beş yıllık kalkınma planı özel ihtisas komisyonu raporu. (1995). Alüminyum. Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü. Ankara.
- [20] ALPER, G.(2003). Alüminyum sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş 5052-5182 alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21] ONUR, A.(2014). AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemine bağlı olarak işlenebilirliğinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- [22] KAYA, A.(2019). 1050 Alüminyum alaşım ve H00 kondisyonda farklı silisyum oranlarının mekanik özelliklere etkileri. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [23] PARILTAN, M.Ç.(2018). Al2024-316L metal-metal matrisli kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [24] SERFİÇELİ, Y.S.(2000). Malzeme Bilgisi Temel Ders Kitabı. 181-185. İstanbul.
- [25] TEKİN, E.(1984). Demirdışı metaller ve alaşımlarının uygulamalı optik metalografisi. 126. Ankara.

[26] UZUN, R.O.(2015). Metal matrisli kompozitlerin direkt geri kazanım tozlarından T/M yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

[27] TOPTAŞ, V.(2014). Bir alüminyum alaşımı ile basınçlı döküm yöntemi kullanılarak tabanca gövdesi üretimi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[28] YILDIZ, F.(1996). Alaşımlarının yapı ve özellikleri. 56-62. Adapazarı.

[29] TUNÇEL, O.(2015). Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen AA6082-T6 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

[30] KAYABAŞI, İ.(2016). Metal matrisli kompozit malzeme üretim sistemi imalatı ve performansının incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.

[31] KERTİ, I.(1998). Gaz enjeksiyon ve elementel karbon ilavesi yöntemleri ile TiC takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretimi. Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[32] KALEMTAŞ, A.(2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi,18-30. Muğla.

[33] GÜNEŞ, D.(2010). Al matrisli SiC_p takviyeli kompozit ile Ç1030 çeliğinin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.

[34] AKYILDIZ, A.(2018). Yumurta kabuğu katkılı harçların mekanik özellikleri. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi. 8(2), 570-574.

[35] HASSAN, S., AIGBODION, V.S.(2013). Effects of eggshell on the microstructures and properties of Al-Cu-Mg/ eggshell particulate composites. Journal of King Saud University.



- [36] DWİWEDİ, S.K., SRİVASTAVA, A.K., CHOPKAR, M.K.(2019). Wear study of chicken eggshell-reinforced Al6061 matrix composites. Trans Indian Inst Met. 72(1), 73-84.
- [37] HASSAN, S.B., AİGBODİON, V.S., PATRİCK, S.N.(2012). Development of polyester/eggshell particulate composites. Tribology in Industry. 34(4) ,217-225.
- [38] KILIÇ, C.(2008). Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AlMg3/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Trakya Üniversitesi, Edirne.
- [39] KAYA, B.(2014). Al7Si-xB4C ve Al7Si-xZrB2(X=%5, %10 ve %15) kompozitlerinin mekanik alaşımlama ve sinterleme süreçlerinin incelenmesi ve Karakterizasyon çalışmaları. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [40] MUZOĞLU, M.(2018). Farklı ortam koşullarında bekletilen doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [41] SAYLIK, A.(2016). Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhalarda gerilme analizi. Yüksek lisans tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [42] GÖRENER, A.(2011). AHP ve TOPSIS yaklaşımlarıyla metal matrisli kompozit imalat makinelerinin seçimi. Mühendis ve Makine. 52(613),59-71.
- [43] KOÇER, T.(2002). Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen Al₂O₃ ve SiC partikül takviyeli Al-Mg metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [44] GÖKÇE, A., FINDIK, F., KURT, A.O.(2017). Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri. Mühendis ve Makine. 58(686),21-47.

- [45] ÇAVUŞOĞLU, Ü.(2013). Magnezyum matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [46] TOPUZ, A.(2012). Döküm ve toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen AA2014-Al₄C₃ metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [47] KISASÖZ, A.A.(2018). Alüminyum matrisli titanyumdiborür in situ takviyeli kompozitlerin üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [48] YILMAZ, H. (2007). Alüminyum esaslı SiCp partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler. Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [49] SOY, U. Sıvı metal infiltrasyon. Metal Dünyası. 10, 131-134.
- [50] MİLLİ, A.(2017). Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B₄C+ FeTi) takviyeli Fe esaslı kompozit üretimi. Yüksek lisans tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [51] ŞENEL, C.M., GÜRBÜZ, M., KOÇ, E.(2018). Toz metalurjisi yoluyla üretilen Al-Si₃N₄ metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Mühendis ve makine. 59(693),33-46.
- [52] BAYDEMİR, E.(2018). Sıcak presleme yöntemi ile üretilen AA6061 matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [53] AFOLABI, D. HANIM, A. KUPOLUYI, O. ÇALIN, R. ZUHRI, MYM.(2021). Mısır koçanı gözenek oluşturuıcı ajanla hazırlanan gözenekli alümina seramiklerin özel gözenek yapıları ve mekanik özellikleri. Uluslararası Uygulamalı Seramik Teknolojisi Dergisi.18(1), 244-252.

[54] BORAZAN, A.A., KURU, D., SERT, S.(2019). Atık yumurta kabuğu katkısının polyester kompozit malzeme üretimine etkisi. BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi. 6, 135-145.

[55]ÇALIGÜLÜ, U. ISLAK, S., BOZ, M.H., ŞAHİN, B., Ni/B₄C FDM kompozitlerin Karakterizasyonu. III. savunma sanayi sempozyumu. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 7-9 Ekim.

[56] OKAY, F. ISLAK, S., TM ile üretilen Al-Ti₃AlC₂ kompozitlerin mikroyapı özellikleri. III. savunma sanayi sempozyumu. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 7-9 Ekim.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba YENİLMEZ

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim : Kırıkkale Üniversitesi- 2018- Lisans

Çalışılan Kurum/Yıl : Caner Endüstriyel Makine Kalıp San. Ltd. Şti./ 2022

Yayınlar:YENİLMEZ, T.ÇALIN, R. (2019). Physical and Mechanical Properties of Agro-Waste Reinforced Aluminum Matrix Composites: A Review. Case study material engineering and applied sciences: UPM and KKU. Chapter 5, 44-56.